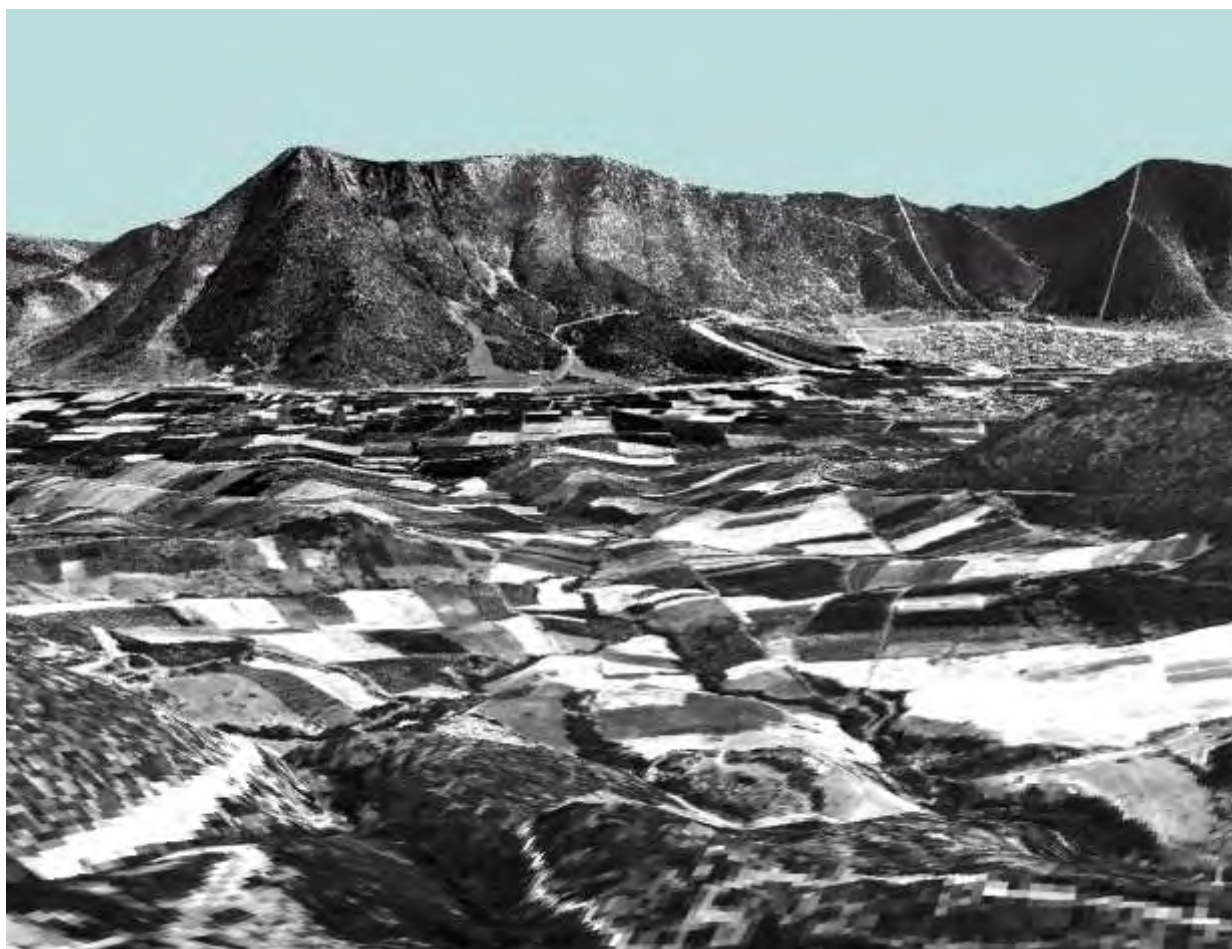




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
και ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ



« Χωροταξική απεικόνιση μερικών ιδιοτήτων(μηχανική ανάλυση, pH,  $\text{CaCO}_3$ ) και ιχνοστοιχείων (Cd, Fe, Zn, Cu) των εδαφών της περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας με χρήση τηλεπισκόπησης, DGPS και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών »

Δρόσος Αχιλλέας  
ΒΟΛΟΣ 2006

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Ιωάννης Κ. Μήτσιος, Καθηγητής**

**Γνωστικό Αντικείμενο : Εδαφολογία – Χημεία και Γονιμότητα Εδάφους**

**Μέλη Συμβουλευτικής Επιτροπής**

**Σταμάτης Φλωράς  
Ερευνητής Β΄  
Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και  
Ταξινόμησης Εδαφών  
Λάρισας  
ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε**

**Δημήρκου Ανθή  
Ερευνητής Α΄  
Ινστιτούτο Εδαφολογίας Αθηνών  
ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια από 25/11/2005**

**Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία, Καθηγήτρια**

**Γνωστικό Αντικείμενο : Αρδεύσεις-Στραγγίσεις, Υδραυλική**

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Άριστη περιοχή pH διαφόρων καλλιεργειών   | 2  |
| 2  | Εδαφοτομές στην περιοχή Μαγνησίας   | 7  |
| 3  | Σύγκριση αυτοματοποιημένης και παραδοσιακής χαρτογραφίας  | 28 |
| 4  | Τα χρησιμοποιούμενα format  | 31 |
| 5  | Χωρικά και μη χωρικά στοιχεία   | 35 |
| 6  | Οι μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής λογισμικού GIS κατά αλφαβητική σειρά                           | 39 |
| 7  | Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ διανυσματικών, κυψελιδωτών δεδομένων και<br>τριγωνισμένων δικτύων | 41 |
| 8  | Μορφή Επιφανειακών Προτύπων   | 44 |
| 9  | Διάφορες τιμές εύρους χωρικής συσχέτισης  | 48 |
| 10 | Αποτελέσματα αναλύσεων  | 82 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

---

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 1  | Στάδια σχηματισμού πετροκαλσικού ορίζοντα σε βαθιές αποθέσεις   | 7   |
| 2  | Τυπικό πειραματικό ημιβαριόγραμμα                               | 47  |
| 3  | Εκθετικό πρότυπο  | 50  |
| 4  | Γραμμικό πρότυπο  | 50  |
| 5  | Σφαιρικό πρότυπο  | 51  |
| 6  | Gaussian πρότυπο  | 51  |
| 7  | Κυκλικό πρότυπο   | 52  |
| 8  | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy | 103 |
| 9  | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα                             | 106 |
| 10 | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy | 110 |
| 11 | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy | 116 |
| 12 | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy | 119 |
| 13 | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy | 123 |
| 14 | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy | 129 |
| 15 | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα                             | 129 |
| 16 | Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy | 131 |

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 1  | Τρίγωνα μηχανικής σύστασης  | 3   |
| 2  | Χαρτογραφία με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή   | 28  |
| 3  | Τηλεπισκόπηση η οποία χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την καταγραφή πληροφοριών  | 32  |
| 4  | Δεδομένα τηλεπισκόπησης και αποτελέσματα της επεξεργασίας και ανάλυσής τους   | 32  |
| 5  | Η διάταξη των δορυφόρων που χρησιμοποιεί το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού  | 33  |
| 6  | Εφαρμογή για on-line διαχείριση χωρικής βάσης δεδομένων   | 34  |
| 7  | Η οθόνη διεπαφής χρήστου-μηχανής σε ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Απόφασης (DSS)  | 34  |
| 8  | Τα συστατικά μέρη ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών   | 37  |
| 9  | Μορφές δεδομένων σε ένα διανυσματικό σύστημα  | 40  |
| 10 | Τρόποι αναπαράστασης του κόσμου   | 41  |
| 11 | Παραδείγματα αναπαράστασης του πραγματικού κόσμου   | 43  |
| 12 | Λήψη δειγμάτων εδάφους στον αγρό  | 62  |
| 13 | Τρισδιάστατη απεικόνιση του κάμπου του Αλμυρού, με υπέρθεση του υδρογραφικού δικτύου  | 66  |
| 14 | Γεωλογικός χάρτης Αλμυρού   | 67  |
| 15 | Δέκτης DGPS   | 68  |
| 16 | Ορθοφωτοχάρτης περιοχής Αλμυρού   | 69  |
| 17 | Εδαφολήπτης του οίκου Edelman   | 69  |
| 18 | Τρισδιάστατη απεικόνιση του Αλμυρού με ArcScene   | 77  |
| 19 | Διάρθρωση του ArcGIS  | 78  |
| 20 | Θεματικός χάρτης οικισμών πεδιάδας Αλμυρού  | 81  |
| 21 | Θεματικός χάρτης υδρογραφικού δικτύου με υπέρθεση οικισμών πεδιάδας Αλμυρού   | 87  |
| 22 | Θεματικός χάρτης οδικού δικτύου με υπέρθεση οικισμών πεδιάδας Αλμυρού   | 88  |
| 23 | Θεματικός χάρτης ισουψών καμπύλων με υπέρθεση οικισμών πεδιάδας Αλμυρού   | 89  |
| 24 | Θεματικός χάρτης σημείων δειγματοληψίας με υπέρθεση οικισμών και υδρογραφικού δικτύου πεδιάδας Αλμυρού                                      | 90  |
| 25 | Ψηφιακό Ύψομετρικό Μοντέλο με υπέρθεση δορυφορικής εικόνας  | 91  |
| 26 | Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο με υπέρθεση υδρογραφικού πεδιάδας Αλμυρού  | 92  |
| 27 | Χάρτης κλίσεων με υπέρθεση υδρογραφικού και οικισμών πεδιάδας Αλμυρού   | 93  |
| 28 | Χάρτης προσανατολισμού κλίσεων με υπέρθεση υδρογραφικού και οικισμών πεδιάδας Αλμυρού   | 94  |
| 29 | Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου με υπέρθεση υδρογραφικού και οικισμών πεδιάδας Αλμυρού  | 95  |
| 30 | Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα φυσικού χρώματος  | 97  |
| 31 | Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα φυτοκάλυψης   | 98  |
| 32 | Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα φυτοκάλυψης με αποτύπωση συμπερασμάτων  | 99  |
| 33 | Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα γεωλογίας   | 100 |
| 34 | Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα γεωλογίας με αποτύπωση συμπερασμάτων  | 101 |
| 35 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης pH  | 105 |
| 36 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών του pH σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm  | 103 |
| 37 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών του pH σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                      | 104 |
| 38 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης CaCO <sub>3</sub>   | 108 |
| 39 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών του CaCO <sub>3</sub> σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                           | 106 |
| 40 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών του CaCO <sub>3</sub> σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.      | 107 |
| 41 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας οργανικής ουσίας  | 112 |
| 42 | Λεπτομέρεια δορυφορικής φυσικού χρώματος με καμένες εκτάσεις  | 109 |
| 43 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών της οργανικής ουσίας σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                            | 110 |
| 44 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών της οργανικής ουσίας σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm        | 111 |
| 45 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας άμμου   | 113 |
| 46 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας ιλύος   | 114 |
| 47 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας αργίλου   | 115 |
| 48 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας της κοκκομετρικής σύστασης σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                                | 116 |
| 49 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της κοκκομετρικής σύστασης σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm            | 117 |
| 50 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης κοκκομετρικής σύστασης  | 118 |
| 51 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Cu σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                      | 119 |
| 52 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Cu σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm. | 120 |
| 53 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Cu   | 121 |
| 54 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Fe   | 122 |
| 55 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Fe σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                      | 123 |
| 56 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Fe σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm  | 124 |
| 57 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Mn   | 125 |
| 58 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Mn σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                      | 126 |
| 59 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Mn σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm. | 126 |
| 60 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Pb   | 127 |
| 61 | Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Pb σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                      | 128 |
| 62 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Pb σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm  | 128 |

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 63 | Διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Zn εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm                        | 130 |
| 64 | Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Pb σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm | 131 |
| 65 | Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Zn  | 132 |
| 66 | Περιβάλλον εργασίας βάσης δεδομένων  | 134 |
| 67 | Περιβάλλον εργασίας βάσης δεδομένων  | 134 |

## Η προστασία του εδάφους

*Με ανακοίνωση της προς το Συμβούλιο Υπουργών, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, την Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή Περιφερειών η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτρέπει να προστατευθεί το έδαφος διότι αυτό αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αειφόρο ανάπτυξη. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επισείει την προσοχή στο ότι ο αριθμός των σημαντικότερων ειδών εδάφους υπερβαίνει τα 320, με αξιοσημείωτες διάφορες ως προς τις φυσικές και χημικές ιδιότητες τους ακόμη και σε τοπικό επίπεδο. Επομένως αναγκαίο τα μέτρα προστασίας του εδάφους να λαμβάνουν υπόψη τους κάθε τοπικό στοιχείο στις πολιτικές εδαφικής προστασίας.*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή αναπτύχθηκε στα πλαίσια των μεταπτυχιακών μου σπουδών στην ειδίκευση Γεωργική Μηχανική – Διαχείριση Φυσικών Πόρων της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του τμήματος Π.Θ.

Σε αυτό το σημείο νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Εδαφολογίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος κύριο Ιωάννη Κ. Μήτσιο, Ph.D. τόσο για την ανάθεση του θέματος της μεταπτυχιακής μου διατριβής όσο και την αμέριστη συμπαράσταση καθόλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Η συμβολή του υπήρξε καθοριστική στην συγγραφή της παρούσας διατριβής με υποδείξεις, επισημάνσεις, προτροπές και προβληματισμούς. Θέλω να τον ευχαριστήσω επίσης, γιατί κατά τη διάρκεια των σπουδών μου αμέτρητες ήταν οι ώρες που αφιέρωσε προκειμένου να με καθοδηγήσει και να με ωθήσει να σκέφτομαι επιστημονικά συνδυάζοντας τις γνώσεις που έχω αποκομίσει.

Η παρούσα εργασία δε θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς τη συμπαράσταση της Καθηγήτριας Αρδεύσεων και Στραγγίσεων του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος κυρίας Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρίας , που ανέλαβε ρόλο επιβλέποντα καθηγητή.

Ευχαριστώ θερμά τον Ερευνητή Β του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (Ι.Σ.Ψ.Τ.Α.Π.) Δρ. Σταμάτη Φλωρά για τις άπειρες ώρες διδασκαλίας στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και για τη συμβολή του στην αξιοποίηση των δεδομένων της εργασίας αυτής στους ψηφιακούς θεματικούς χάρτες, για τις πολύτιμες πληροφορίες – υποδείξεις, διορθώσεις της μεταπτυχιακής μου διατριβής καθώς και για τις γνώσεις και τη βοήθεια που μου προσέφερε.

Σημαντική ήταν και η καθοδήγηση της Δρ. Δημήρκου Α. που πρόσφερε χρήσιμες συμβουλές και βοήθεια.

Επίσης θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στην διευθύντρια του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (Ι.Σ.Ψ.Τ.Α.Π.) Δρ. Γεωργία Ζέρβα για τη συμμετοχή μου σε ερευνητικά προγράμματα του Ινστιτούτου που βοήθησαν στην καλύτερη κατάρτισή μου και στην απόκτηση εμπειρίας.



Την Δρ. Ευαγγελία Γκόλια που με προθυμία μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον Δρ. Λεωνίδα Τούλιο για τις πολύτιμες υποδείξεις του σε θέματα τηλεπισκόπησης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική και οικονομική συμπαράσταση που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι οικονομικές εξελίξεις, η ολοκλήρωση των αγορών και η υψηλή ανταγωνιστικότητα των αγροτικών προϊόντων τα τελευταία χρόνια οδηγεί αναπόφευκτα στη δραστική μείωση του κόστους κατά τη διαδικασία της γεωργικής παραγωγής. Ταυτοχρόνως, τα προβλήματα του περιβάλλοντος που διαρκώς οξύνονται, τόσο σε γενικό όσο και σε γεωργικό επίπεδο, έχουν κάνει επιτακτική την ανάγκη για μείωση των εισροών (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, εντομοκτόνα, σπόροι, κ.ά.).

Τα τελευταία χρόνια η αλματώδης ανάπτυξη της αεροναυτικής και διαστημικής επιστήμης έχει δώσει τεράστια ώθηση σε ορισμένες τεχνολογίες, όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης, η Τηλεπισκόπηση (δορυφορική, αεροπορική και επίγεια) και η επιστήμη της Πληροφορικής (τόσο ως δυνατότητες υλικού και περιφερειακών, όσο και ως νέο ισχυρό και εύχρηστο λογισμικό).

Αν και η διάδοση των συστημάτων αυτών στη χώρα μας υστερεί κατά πολύ σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες της δυτικής Ευρώπης, ωστόσο τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται από επιστήμες διαφόρων ειδικοτήτων ανάλογα με τους σκοπούς της εργασίας τους.

Στόχος της διατριβής αυτής ήταν η δημιουργία ενός ψηφιακού υποβάθρου πληροφοριών για την πεδιάδα του Αλμυρού μέσα από την δημιουργία ψηφιακών θεματικών χαρτογραφικών επιπέδων με τη χρησιμοποίηση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και μεθόδων Τηλεπισκόπησης

Για την επίτευξη του στόχου αυτού, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες πηγές δεδομένων, όπως αναλογικοί τοπογραφικοί χάρτες, δορυφορικές εικόνες, γεωλογικός χάρτης καθώς τα απαραίτητα λογισμικά ΓΣΠ και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων.

Η δειγματοληψία εδάφους με την άμεση και αμέριστη βοήθεια του Ερευνητή Β του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (Ι.Σ.Ψ.Τ.Α.Π.) Δρ. Σταμάτη Φλωρά, την αμέριστη συμπαράσταση της Δρ. Γεωργίας Ζέρβα, Διευθύντριας του Ινστιτούτου και την εποπτεία του επιβλέποντα Καθηγητή Εδαφολογίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, κυρίου Ιωάννη Κ. Μήτσιου, Ph.D, ήταν το πρώτο στάδιο της μελέτης. Σημειώνεται ότι η περιοχή μελέτης έχει έκταση 136,362 στρέμματα στην πεδιάδα του Αλμυρού ενώ πάρθηκαν 135 δείγματα.

Ακολούθησε η ανάλυση των δειγμάτων όπου μετρήθηκε η κοκκομετρική σύσταση, του pH, του  $\text{CaCO}_3$  ως και ο προσδιορισμός των διαθεσίμων ποσοτήτων των στοιχείων των στοιχείων Cd, Fe, Zn, Cu, Mn, Pb.

Η συγκέντρωση και η εισαγωγή των δεδομένων στο ΓΣΠ αποτέλεσε το τρίτο στάδιο της εφαρμογής κατά το οποίο δημιουργήθηκαν τα πρωτογενή ψηφιακά δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή νέων θεματικών επιπέδων πληροφορίας της περιοχής, μέσω των λειτουργιών ανάλυσης που παρέχονται από τα ΓΣΠ. Επίσης δημιουργήθηκε ειδική εδαφολογική βάση δεδομένων.

Λειτουργίες ανάλυσης όπως γεωστατιστικές μέθοδοι και διαδικασίες ανάλυσης δορυφορικών εικόνων εφαρμόστηκαν για την δημιουργία των θεματικών επιπέδων που αφορούσαν κυρίως τα εδαφολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά αλλά και σε πρωτογενές στάδιο την ταξινόμηση των καλύψεων γης της περιοχής.

Στην πεδιάδα του Αλμυρού υπάρχουν ισχυρώς όξινα αλλά και αλκαλικά εδάφη, τα τελευταία καταλαμβάνουν και μεγαλύτερη έκταση.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι χαμηλή με εξαίρεση την περιοχή του όρμου της Σούρπης όπου και υπάρχει βαλτώδης περιοχή σε επικοινωνία με τη θάλασσα.(esuary).

Η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο κυμαίνεται από 0 στην περιοχή της Ευξεινούπολης έως 40% στην περιοχή της Αλίας.

Σχεδόν το σύνολο των εδαφών της πεδιάδας του Αλμυρού χαρακτηρίζονται ως αμμοαργιλοπηλώδη ενώ στην περιοχή του Αϊδίνιου υπάρχουν αργιλώδη εδάφη.

Οι συγκεντρώσεις του διαθέσιμου Cu είναι μέσες έως και υψηλές. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βρίσκονται στην περιοχή του Κορφολακίου όπου υπάρχουν κυρίως δενδρώδεις καλλιέργειες.

Η πεδιάδα του Αλμυρού χαρακτηρίζεται από μέσες έως και χαμηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Fe με εξαίρεση την περιοχή του όρμου της Σούρπης όπου υπάρχουν ύψηλές συγκεντρώσεις. Το γεγονός αυτό μάλλον οφείλεται στις δεξαμενές καυσίμων και τη βιομηχανία σιδήρου που υπάρχει στην περιοχή. Οι ίδιες εγκαταστάσεις μάλλον ευθύνονται και για τις υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Zn που καταγράφηκαν στην περιοχή.

Οι συγκεντρώσεις διαθέσιμου Mn είναι κατά κύριο λόγο μέσες έως και χαμηλές. Εξαίρεση σε αυτό το κανόνα αποτελούν τα εδάφη της περιοχής της Ευξεινουπόλεως όπου το pH είναι όξινο.

Οι συγκεντρώσεις του διαθέσιμου Pb κινούνται από 0,02 έως και 3,46 mg/kg ξηρού εδάφους. Αυξημένες συγκεντρώσεις Pb υπάρχουν στην περιοχή του όρμου της Σούρπης καθώς και γύρω από τον οικισμό Χοροστάσι.

Η πεδιάδα του Αλμυρού χαρακτηρίζεται από μέσες έως και υψηλές συγκεντρώσεις Zn. Πολύ υψηλές τιμές διαθέσιμου Zn παρατηρούμε στην περιοχή Κορφολακίου καθώς και στον όρμο της Σούρπης.

## **Abstract**

Economic development, integration of markets and the exacerbation of competition in agricultural sector during the last years have led to the need for drastic reduction of cost in the process of agricultural production. At the same time, the problems of environment that continuously grow with fast rates, have made the careful management of the application of material input in agriculture imperative.

The last years also, the rapid growth of aeronautics and the research for space, has given enormous impulse in certain technologies, such as the Geographic Information Systems, GPS, Remote Sensing (satellite, air and land) and Computer science (hardware and/or software).

Even if the distribution of these systems in our country is inferior compared to the rest of the west European countries, GIS becomes more and more popular in Greece.

The objective of this thesis was the creation of digital thematic maps using GIS and Remote Sensing techniques.

For the achievement of this objective, various sources of data were used, such as analog topographic maps, satellite images, geological maps and also GIS and RS.

Soil samples were taken with the direct advice and help of Dr Stamatis Floras who is a researcher of NAGREF, the support of Dr Georgia Zerva manager of the Digital Systems Technology and Agricultural Informations Institute and the supervisor of professor of soil science at the Faculty of Agronomic Sciences of the Department of Agronomics of Plant Production and Rural Environment Ioannis Mitsios Ph. D. This was the first stage of the study. It is mentioned that the region of the study has an acreage of 13,636 and is located in the plain of Almyros. There were taken 135 soil samples in total.

The samples were analysed for the texture, the pH,  $\text{CaCO}_3$  as well as the availability of trace elements Cd, Fe, Zn, Cu, Mn, Pb.

The collection and input of the data was the third stage of the work with which primary digital data was created. This was used in the following stages for the production of new thematic levels of information, via analysis methods that are provided by the GIS. A special soil database was then created.

Geostatistical analysis methods and processes of analysis of satellite images were applied for the creation of thematic information that concerned mainly the soil properties and secondly the morphological characteristics of the soil as well as the classification of land use which was executed in an early stage.

In the plain of Almyros there are very acid but also alkaline soils. The last ones are also more extensive.

The content of organic matter is low with the exception of the region of the Sourpi bay where a marshy or boggy land (estuary) exists.

The content in  $\text{CaCO}_3$  fluctuates from 0 in the region of Euxeinopolis to 40% in the region of Alias.

Almost all of the soils of the plain of Almyros are characterized as sandy clay loam while in the region of Aidinion clay soils exist.

The concentrations of available Cu are medium to high. Highest concentrations are found in the region of Korfolakou where there is horticultural tree corps.

The plain of Almyros is characterized by medium to low concentrations of available Fe with the exception of the region of the Sourpi bay where high concentrations of iron were found. This phenomenon is owed more or less to the liquid fuels depots and to other industrial installations that exist in the region. It is likely that the same

installations are also responsible for the high concentrations of available Zn ktagra'fikan in the region.

The concentrations of available Mn are mainly medium to low. Exception to this rule constitutes the soils of the region of Euxeinoupolis where the pH is acid.

The concentrations of available Pb are fluctuated from 0,02 to 3,46 mg / kg dry soil. Increased concentrations exist in the region of the Sourpi bay as well as around the settlement Horostasi.

The plain of Almyros is characterized by medium to high concentrations of available Zn. Very high amount of available Zn we found in the region of Korfolakiou as well as in the area of the Sourpi bay.

# ΑΧΙΛΛΕΑΣ ΔΡΟΣΟΣ

## ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

---

- Ημερομηνία γέννησης : 28/05/1977
- Διεύθυνση κατοικίας : Οικονόμου εξ Οικονόμων 39, Τ.Κ. 41223, Λάρισα
- Τηλέφωνο : 2410231114, Κινητό : 6973779724
- E-Mail : [adrosos@agr.uth.gr](mailto:adrosos@agr.uth.gr)
- Web site : <http://members.fortunecity.com/gislab>

## ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

---

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αθήνα

Πτυχίο Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Ειδικότητα Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας.

Βαθμός Πτυχίου : 7 (Λίαν Καλώς)

- Πτυχιακή Μελέτη (Επίδραση της ιλύος βιολογικού καθαρισμού στην απόδοση του βαμβακιού και σε ορισμένες εδαφικές ιδιότητες, Βαθμός 10)
- Πρακτική Εξάσκηση (124 ημέρες, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε Λάρισας, υπεύθυνος εξάσκησης Dr. Χρήστος Τσαντήλας)

Msc Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Σχολής Γεωπονικών Επιστημών με τίτλο: Σύγχρονα Συστήματα Αγροτικής Παραγωγής στο Μεσογειακό Χώρο με Έμφαση στην Αειφορική Παραγωγή και τη Χρησιμοποίηση νέων Τεχνολογιών, Ειδικότητα Γεωργική Μηχανική και Διαχείριση Φυσικών Πόρων.

- Μεταπτυχιακή Μελέτη: Χωροταξική απεικόνιση μερικών ιδιοτήτων(μηχανική ανάλυση, pH, CaCO<sub>3</sub>) και ιχνοστοιχείων (Cd, Fe, Zn, Cu) των εδαφών της περιοχής Αλμυρού Μαγνησίας με χρήση τηλεπισκόπησης, DGPS και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

## ΣΥΝΕΧΗΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ - ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ

---

- «Διαχείριση και ασφάλεια δικτύου φυσικού αερίου» 350 ώρες, ΚΕΚ ΤΕΙ Πειραιά
- «Μηχανολογία Βιομηχανικών εγκαταστάσεων», 400 ώρες, ΚΕΚ ΤΕΙ Πειραιά
- «Χρήση του MS Power Point για τη Δημιουργία Παρουσιάσεων», μία ημέρα στο ΓΠΑ
- «Αναζήτηση Πληροφοριών και Βιβλιογραφίας μέσω του Internet»,μία ημέρα στο ΓΠΑ
- «Αρδευση Έργων Πρασίνου/ Υλικά Άρδευσης», τρεις ημέρες στο ΓΠΑ
- «Εισαγωγή στη Σχεδίαση Περιβάλλοντος χώρου με AutoCAD», τρεις ημέρες στο ΓΠΑ
- «Εισαγωγή στη χρήση ΓΠΣ και τηλεπισκοπίσεις στη διαχείριση φυσικών πόρων και Γεωργικής Μηχανικής», τρεις ημέρες στο ΓΠΑ
- «Εισαγωγή στις πιστοποιήσεις ISO and HACCP», δύο ημέρες στο ΓΠΑ
- «Η γεωργία ακριβείας στο βαμβάκι», μία ημέρα στο συνεδριακό κέντρο του ΤΕΙ Λάρισας



- 
- «Critical Success Factors for Direct Marketing: What Works in Today's Business & Regulatory Environment» διαδικτυακό σεμινάριο από την Ziff Davis media
  - «Data protection and backup» διαδικτυακό σεμινάριο από την Ziff Davis media

#### ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

---

«Εξειδίκευση σε θέματα Διοικητικής υποστήριξης υπηρεσιών», STAGE 2002, ΤΕΙ Πειραιά

Συμμετοχή στο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΘΙΑΓΕ «Application of remote sensing for the optimization of sustainable management in agricultural systems of Mediterranean climate regions» από 1-7 έως 31-8-2001

Συμμετοχή στο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΘΙΑΓΕ «Διερεύνηση της καταλληλότητας των στερεών αποβλήτων της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β για γεωργική και άλλες χρήσεις» τα έτη 2000 και 2002

Συμμετοχή στο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΘΙΑΓΕ «ΟΣΔΕ 2004» ως ελεγκτής και συντονιστής ομάδας εργασίας

Συμμετοχή στο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΘΙΑΓΕ «Γεω-δείγμα 2004» ως συντονιστής συνεργείων και υπεύθυνος τεχνικής υποστήριξης

Συμμετοχή στο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΘΙΑΓΕ «Δορυφορικός Έλεγχος Βαμβακιών 2004» ως αναλυτής δορυφορικών εικόνων και συντονιστής

Συμμετοχή στο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΘΙΑΓΕ «ΟΠΕΚΕΠΕ» ως ελεγκτής και υπεύθυνος τεχνικής υποστήριξης

Συμμετοχή στο πρόγραμμα του ΕΘΙΑΓΕ «Προϊόντα ονομασίας προέλευσης Ελασσόνας»

Χαρτογράφηση κατά τη διάρκεια της στρατιωτικής θητείας

#### ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

---

- ❖ Αγγλικά : Άριστη γνώση : LOWER CERTIFICATE OF CAMBRIDGE
- ❖ Ιταλικά : Καλή γνώση : Επίπεδο Diploma

#### ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ

---

- Χειρισμός όλων των λειτουργικών συστημάτων (Windows 95, 98, Me, 2000, XP, Linux)
- Άριστη γνώση Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, FrontPage, Outlook, Outlook Express)
- Άριστη Γνώση AutoCAD 2000
- Άριστη Γνώση Arcview, Arcmap, Erdas Imagine, ENVI και όλων των προγραμμάτων GIS
- Άριστη Γνώση δημιουργίας και διαχείρισης βάσεων δεδομένων στην Access
- Άριστη Γνώση Stat graphics for Windows

- 
- Άριστη Γνώση συντήρησης Η/Υ
  - Άριστη Γνώση χειρισμού ηλεκτρονικής αλληλογραφίας και Internet
  - Άριστη Γνώση χειρισμού GPS, PAD computer καθώς και ArcPad
  - Άριστη Γνώση προγραμματισμού γλώσσας Fortran
  - Άριστη Ικανότητα δημιουργίας ιστοσελίδων και δημοσίευσης τους στο Internet
  - Άριστη Ικανότητα επεξεργασίας ψηφιακής εικόνας και φωτογραφίας
  - Άριστη Ικανότητα επεξεργασίας ψηφιακών χαρτών και δορυφορικών εικόνων
  - Άριστη Ικανότητα επεξεργασίας, ταξινόμησης και γεωμετρικής διόρθωσης δορυφορικών εικόνων

---

#### ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ

Συμμετοχή στο πρόγραμμα ΕΠΕΛΕΚ κατά τη διάρκεια της πρακτικής άσκησης (Συμμετέχουν 20 φοιτητές το χρόνο που επιλέγονται με βάση τη βαθμολογία)

Συμμετοχή στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών του γεωπονικού πανεπιστημίου Βόλου για το έτος 2003 – 2004

Τιμητική υποτροφία Ιδρύματος Κρατικών Υποτροφιών ως μεταπτυχιακός φοιτητής με την υψηλότερη βαθμολογία το ακαδημαϊκό έτος 2003-2004 στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών του γεωπονικού πανεπιστημίου Βόλου

---

#### ΑΛΛΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Κατοχή άδειας οδήγησης αυτοκινήτου

Κατοχή άδειας οδήγησης μοτοποδηλάτου

|       |   |    |
|-------|---|----|
|       | Καταλογος πινάκων   |    |
|       | Κατάλογος σχημάτων  |    |
|       | Κατάλογος εικόνων   |    |
|       | Ευχαριστίες   |    |
|       | Περίληψη  |    |
|       | Abstract  |    |
|       | Βιογραφικό σημείωμα συγγραφέα   |    |
|       | <b>Ανασκόπηση βιβλιογραφίας - ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>  |    |
| 1,1   | Το εδαφικό pH   | 1  |
| 1,2   | Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους  | 2  |
| 1,3   | Το ανθρακικό ασβέστιο   | 5  |
| 1,4   | Τα βαρέα μέταλλα  | 8  |
| 1,4,1 | Χαλκός  | 10 |
| 1,4,2 | Ψευδάργυρος   | 11 |
| 1,4,3 | Μαγγάνιο  | 11 |
| 1,4,4 | Μόλυβδος  | 13 |
| 1,4,5 | Κάδμιο  | 14 |
| 1,4,6 | Σίδηρος   | 16 |
| 1,5   | Οργανική Ουσία  | 18 |
| 1,6   | Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών   | 20 |
| 1,6,1 | Ορισμοί   | 20 |
| 1,6,2 | Ιστορική αναδρομή   | 21 |
| 1,6,3 | Η κατάσταση στην Ελλάδα   | 25 |
| 1,6,4 | Χαρτογραφία με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή   | 27 |
| 1,6,5 | Συσχετιζόμενες τεχνολογίες  | 31 |
| 1,6,6 | Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing)  | 32 |
| 1,6,7 | Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσεων (Global Positioning System)                             | 33 |
| 1,6,8 | Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (DataBase Management Systems)                        | 33 |
| 1,6,9 | Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems) και Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)          | 34 |
| 1,7   | Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών  | 35 |
| 1,7,1 | Γενικά χαρακτηριστικά και συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ   | 37 |
| 1,7,2 | Βασικές μορφές αναπαραστάσης  | 39 |
| 1,8   | Γεωστατιστική   | 44 |
| 1,9   | Εσωεκτίμηση Kriging   | 53 |
| 1,10  | Εκτίμηση σφάλματος  | 57 |
| 1,11  | Ανάλυση του εδάφους για την εκτίμηση της περιεκτικότητάς του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία | 59 |
| 1,12  | Προϋποθέσεις και στόχοι της εδαφικής ανάλυσης   | 59 |
| 1,13  | Προγράμματα ανάλυσης του εδάφους  | 60 |
| 1,14  | Δειγματοληψία εδάφους στον αγρό   | 61 |
| 1,15  | Συσχέτιση και βαθμονόμηση   | 64 |
|       | <b>Υλικά και Μέθοδοι - ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>   |    |
| 2,1   | Περιοχή Δειγματοληψίας  | 66 |
| 2,2   | Λήψη εδαφικών δειγμάτων   | 67 |
| 2,3   | Προετοιμασία των εδαφικών δειγμάτων   | 69 |
| 2,4   | Εδαφικό pH  | 70 |
| 2,5   | Προσδιορισμός ανθρακικού ασβεστίου  | 70 |
| 2,6   | Μηχανική Ανάλυση  | 71 |
| 2,7   | Προσδιορισμός οργανικής ουσίας του εδάφους  | 73 |
| 2,8   | Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων εδάφους   | 75 |
| 2,9   | Δημιουργία θεματικών χαρτών   | 76 |
| 2,10  | Εφαρμογή του ArcGIS v. 8.3 Desktop  | 77 |
| 2,11  | Εξέταση της χωρικής μεταβλητότητας των δεδομένων  | 79 |
|       | <b>Αποτελέσματα και Συζήτηση - ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>   |    |
| 3,1   | Αποτελέσματα  | 81 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3,1,1 | Μορφολογικοί χάρτες  | 91  |
| 3,1,2 | Χάρτες που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια της δορυφορικής εικόνας. | 96  |
| 3,1,3 | Εδαφολογικοί χάρτες εσωεκτίμησης Kriging                         | 101 |
| 3,1,4 | Βάση δεδομένων αποτελεσμάτων                                     | 133 |
|       | <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>                                 | 135 |

## 1.1 Το εδαφικό pH.

Το pH του εδάφους ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της ενεργότητας των ιόντων του υδρογόνου του διαλύματος του δηλαδή:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

Η τιμή του pH στο εδαφικό διάλυμα μειώνεται διαμέσου της στιβάδας διάχυσης, η οποία βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια που είναι αρνητικά φορτισμένη. Για πολλούς πρακτικούς λόγους θεωρείται ως pH του εδάφους το pH του εδαφικού διαλύματος στους πόρους ενός εδάφους, διότι το εδαφικό διάλυμα βρίσκεται σε επαφή με τις επιφάνειες των ριζών. Στο εδαφικό διάλυμα βρίσκονται τα θρεπτικά στοιχεία με τη μορφή ιόντων. Από το εδαφικό διάλυμα οι ρίζες προσλαμβάνουν τα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την αύξηση των φυτών (Μήτσιος 2001).

Το pH του εδάφους το προσδιορίζουμε στο υδατικό εκχύλισμα του, η δε μέτρηση του pH γίνεται με ειδικό όργανο που ονομάζεται πεχάμετρο. Είναι όμως γνωστό ότι τα ιόντα του υδρογόνου και αργιλίου βρίσκονται με την ανταλλάξιμη μορφή στις επιφάνειες ανταλλαγής της στερεής φάσης του εδάφους και επομένως τα ανταλλάξιμα κατιόντα του υδρογόνου και αργιλίου είναι αυτά που επηρεάζουν τις τιμές του pH (Μήτσιος 2001).

Η απορρόφηση και ειδικά ο ρυθμός της πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, εξαρτάται έντονα από το pH του εδαφικού διαλύματος. Τα ανιόντα γενικά συμπεριλαμβανομένων των φωσφορικών και των νιτρικών, προσλαμβάνονται με υψηλότερο ρυθμό στην ελαφρώς όξινη περιοχή pH. Στην περίπτωση των φωσφορικών, το pH ρυθμίζει τη σχέση  $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$  στο εδαφικό διάλυμα και συνεπώς την απορρόφηση τους. Η απορρόφηση των νιτρικών σε υψηλές τιμές pH μειώνεται λόγω ανταγωνισμού τους με τα  $\text{OH}^-$  (Rao and Rains, 1976). Ο ρυθμός της πρόσληψης των κατιόντων είναι μεγαλύτερος στα εδάφη με σχεδόν ουδέτερο pH. Οι υψηλές τιμές pH μειώνουν την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων λόγω καθίζησης αυτών ως αδιάλυτα υδροξείδια, ανθρακικά και οργανικά σύμπλοκα (Kiekenes, 1984). Υπολογίζεται ότι αύξηση του pH κατά μία μονάδα προκαλεί μείωση κατά 100 φορές της αφομοιωσιμότητας των μετάλλων Cd, Zn. (US EPA, 1983).

Τα διάφορα είδη φυτών είναι προσαρμοσμένα σε διαφορετικά επίπεδα pH του εδαφικού διαλύματος. Η άριστη συνεπώς περιοχή για μέγιστη ανάπτυξη και

απόδοση κάθε καλλιέργειας διαφέρει και ο πίνακας 1 είναι ενδεικτικός μόνο για μερικές από αυτές.

Τα δεδομένα του πίνακα αναφέρονται σε κλίματα εύκρατα και η παραλλακτικότητα μέσα στα διάφορα είδη οφείλεται σε διαφορές ποικιλιών, διαφορές κλίματος και συνθηκών του εδάφους. Επίσης διάφοροι δευτερογενείς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών και που συνδέονται με το pH του εδάφους μπορεί να είναι υπεύθυνοι για τη παραλλακτικότητα που παρατηρούμε στο άριστο pH αναπτύξεως. Σαν ένα τέτοιο παράγοντα ο Evers (1963) αναφέρει τη μικροβιακή νιτροποίηση του αζώτου η οποία σε όξινα pH παρεμποδίζεται με αποτέλεσμα ορισμένα είδη φυτών που προτιμούν  $\text{NO}_3\text{-N}$  να μην αναπτύσσονται ικανοποιητικά. Με την προσθήκη όμως  $\text{NO}_3\text{-N}$  τα φυτά αναπτύσσονται ικανοποιητικά ακόμη και αν το pH του θρεπτικού μέσου είναι πολύ όξινο (Klapp, 1951).

**Πίνακας 1.** Άριστη περιοχή pH διαφόρων καλλιεργειών (Μπόβη, 1990)

| Καλλιέργεια   | Περιοχή pH |
|---------------|------------|
| Μηδική        | 6,5-7,4    |
| Κριθάρι       | 5,3-7,4    |
| Σακχαρότευτλα | 6,4-7,4    |
| Τριφύλλι      | 5,3-7,4    |
| Σιτάρι        | 4,1-7,4    |
| Βρώμη         | 4,0-7,0    |
| Πατάτες       | 4,1-7,4    |
| Σίκαλη        | 4,1-7,4    |
| Λούπινα       | 4,1-5,5    |

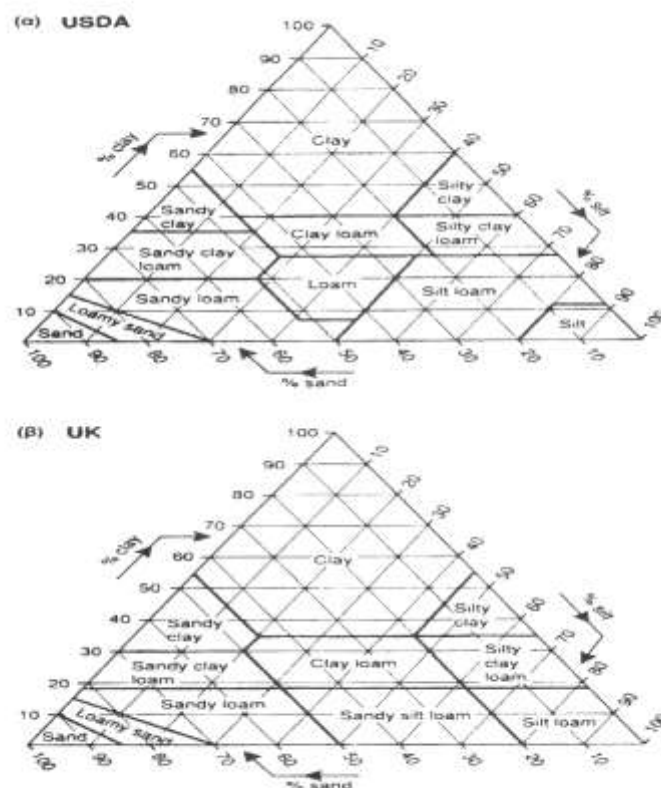
## 1.2 Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους.

Η στερεά φάση του εδάφους αποτελείται από ανόργανα και οργανικά συστατικά. Το ανόργανο κλάσμα περιλαμβάνει τεμαχίδια διαφόρου μεγέθους: τους λίθους με μέση διάμετρο  $>20\text{mm}$ , τους χάλικες με μέση διάμετρο  $2 < \delta < 20\text{mm}$ , την άμμο με  $0,05 < \delta < 2\text{mm}$ , την ιλύ με  $0,05 < \delta < 0,002\text{mm}$  και την άργιλο με μέση διάμετρο  $\delta < 0,002\text{mm}$ . Η άμμος, η ιλύς και η άργιλος, δηλαδή τα τεμαχίδια με  $\delta < 2\text{mm}$  αποτελούν τη λεπτή γη και στο κλάσμα αυτό του εδάφους αναφέρονται οι πάσης φύσεως εδαφολογικές αναλύσεις.

Η σχετική αναλογία των τεμαχιδίων της λεπτής γης από απόψεως μεγέθους καθορίζει τη κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, η οποία έχει μεγάλη σημασία για την εκτίμηση της φυσικής συμπεριφοράς του. Επίσης συνδέεται άμεσα με το επίπεδο των θρεπτικών στοιχείων και τη διαθεσιμότητα αυτών στο έδαφος. Τα μεγαλύτερα τεμαχίδια (άμμος και ιλύς) ως πρωτογενή κυρίως ορυκτά, αποσαθρούμενα απελευθερώνουν θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος. Αντίθετα τα μικρότερα τεμαχίδια που αποτελούν το ανόργανο κολλοειδές κλάσμα, ως δευτερογενή ορυκτά, δεν είναι άμεση πηγή θρεπτικών στοιχείων αλλά με τη φυσικοχημική συμπεριφορά τους ρυθμίζουν τα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα (Μπόβη, 1990).

Με βάση τη κοκκομετρική σύσταση διακρίνονται 12 κλάσεις εδαφών. Οι 12 αυτές κλάσεις εδαφών καταλαμβάνουν ορισμένη θέση και χώρο σε ένα ισοσκελές τρίγωνο το οποίο ονομάζεται τρίγωνο κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών.

Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται δυο τρίγωνα κοκκομετρικής σύστασης. Το τρίγωνο α είναι κατά το αμερικάνικο σύστημα USDA και το τρίγωνο β είναι κατά το αγγλικό UK σύστημα.



**Εικόνα 1.** Τρίγωνα κοκκομετρικής σύστασης (Μήτσιος 2001).

Οι πλευρές των τριγώνων κοκκομετρικής ανάλυσης φέρουν διαιρέσεις σε ποσοστά από 0-100% που αντιστοιχούν στα τρία κλάσματα της λεπτής γης (άμμος, ιλύς, άργιλος).

Η άργιλος έχει μεγάλη επίδραση στη δομή του εδάφους. Ένα έδαφος με 40% άργιλο φέρει τις ιδιότητες της αργίλου, ενώ απεναντίας για να αποδοθούν σε ένα έδαφος οι ιδιότητες της άμμου ή της ιλύος, τα κλάσματα της άμμου και της ιλύος πρέπει να ανέρχονται σε ποσοστά 87% και 80% αντίστοιχα. Όσο το ποσοστό της αργίλου αυξάνει τόσο αυξάνει και η ενεργός επιφάνεια της στερεής φάσης του εδάφους. Με την αύξηση της επιφάνειας των συστατικών του εδάφους αυξάνονται και οι χημικές δραστηριότητες που παρατηρούνται στα συστατικά αυτά (Μήτσιος 2001).

Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι και η γονιμότητα του εδάφους αυξάνει με την αύξηση των συστατικών αυτών. Η γονιμότητα του εδάφους δεν εξαρτάται μόνο από το ποσοστό του εδάφους σε άργιλο, αλλά εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως π.χ. φυσικές ιδιότητες, κακός αερισμός, κακή στράγγιση κ.λ.π. που μειώνουν ή και επηρεάζουν αρνητικά τη γονιμότητα (Μήτσιος 2001).

Τα εδάφη κατατάσσονται σε τρεις βασικές ομάδες ανάλογα με την κοκκομετρική τους σύσταση: τα αμμώδη ή ελαφρά εδάφη, τα πηλώδη ή μέσης σύστασης και τα αργιλώδη ή βαριά εδάφη. Στις τρεις αυτές ομάδες περιλαμβάνονται οι παρακάτω κλάσεις (Μήτσιος 2001):

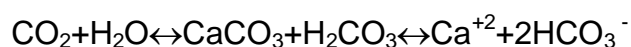
- **Αμμώδες έδαφος:**
  - αμμώδες (Sandy)
  - αμμοπηλώδες (Sandy Loam)
- **Πηλώδες έδαφος:**
  - πηλοαμμώδες (Loamy sand)
  - αμμοαργιλοπηλώδες (Sandy clay loam)
  - πηλώδες (Loam)
  - ιλυοπηλώδες (Silty loam)
  - ιλυοαργιλοπηλώδες (Silty clay loam)
  - ιλυώδες (Silt)
- **Αργιλώδες έδαφος:**
  - αργιλοπηλώδες (Clay loam)
  - ιλυοαργιλώδες (Silty clay)



- αργιλοαμμώδες (Sandy clay)
- αργιλώδες (Clay)

### 1.3 Το ανθρακικό ασβέστιο

Μια βασική ερώτηση που τίθεται συχνά κατά τη χαρτογράφηση των εδαφών είναι, εάν οι συγκεντρώσεις του  $\text{CaCO}_3$  στο έδαφος είναι εδαφογενετικής προέλευσης και συνεπώς ενδεχομένως να έχουν σχηματισθεί και Καλσικοί ορίζοντες (k) ή να είναι ασβεστούχες ιζηματογενείς αποθέσεις και συνεπώς γεωλογικές στρώσεις ή αποθέσεις. Υπάρχει ποικιλία απόψεων σχετικά με την προέλευση τους (Beenes, 1976; Goudie, 1983; Dixon, 1994) που πολλές φορές συμφωνούν μεταξύ τους και άλλες όχι. Οι συγκεντρώσεις του  $\text{CaCO}_3$  θεωρούνται είτε ως χημικές αποθέσεις του  $\text{CaCO}_3$  από ένα διάλυμα στους πόρους του εδάφους ή του ιζήματος, ενώ οι γεωλογικές στρώσεις ως χημικές, κλαστικές ή βιολογικές αποθέσεις  $\text{CaCO}_3$  σε υγρό περιβάλλον και η κοκκομετρική σύσταση τους παρουσιάζει διαφορά με αυτή των υπερκειμένων και υποκειμένων στρωμάτων (Σγούρας 2002). Το ιδανικό περιβάλλον για τον σχηματισμό καλσικών οριζόντων είναι μια περιοχή όχι ξηρή αλλά ούτε υγρή. Οι συγκεντρώσεις αυτές λαμβάνουν χώρα συνήθως σε περιοχές που έχουν βροχόπτωση περίπου 530 mm., με μέση ετήσια θερμοκρασία χαμηλότερη από 22° C (Birkeland, 1974). Η προέλευση των καλσικών οριζόντων είναι αποτέλεσμα της ισορροπίας μεταξύ ανθρακικών και όξινων ανθρακικών ιόντων, όπως αναπτύσσεται σε πολλά γεωχημικά βιβλία (Drever, 1988; Krauskopf and Bird, 1995; Wright and Tucker, 1991) και φαίνεται στις ακόλουθες αντιδράσεις:



Μια αύξηση της περιεκτικότητας σε  $\text{CO}_2$  στον αέρα του εδάφους ή μια μείωση στο pH θα οδηγήσει την αντίδραση προς τα δεξιά που σημαίνει ότι ανθρακικό ασβέστιο θα διαλυθεί και θα μετακινηθεί σαν  $\text{Ca}^{+2}$  και  $\text{HCO}_3^-$  με το νερό του εδάφους. Καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου συμβαίνει κάτω από συνθήκες που μετακινούν την αντίδραση προς τα αριστερά.

Το  $\text{CaCO}_3$  των καλσικών οριζόντων μπορεί να έχει δύο πιθανές προελεύσεις: 1) Να έχει κληρονομηθεί από το μητρικό υλικό, 2) να σχηματίζεται στο έδαφος. Οι ιζηματογενείς αποθέσεις συνήθως περιέχουν  $\text{CaCO}_3$  και των δύο κατηγοριών.

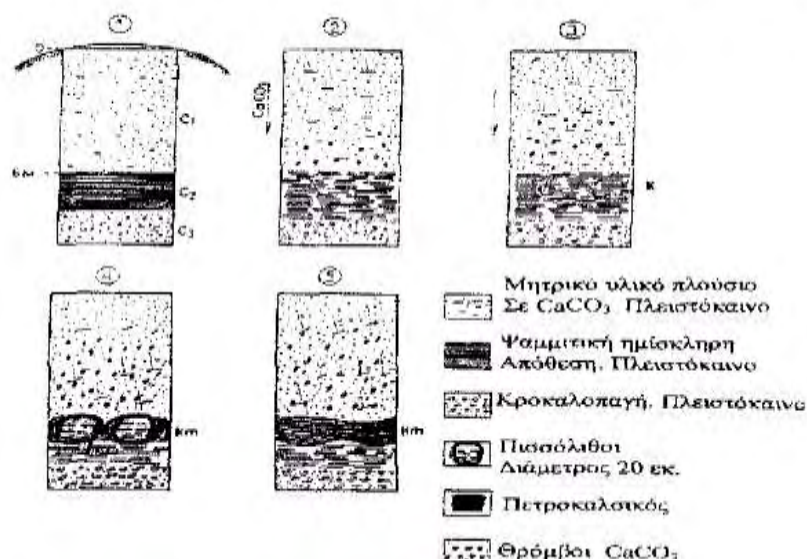
Σύμφωνα με το Soil survey staff (1975), ο καλσικός ορίζοντας είναι ένας ορίζοντας συγκέντρωσης  $\text{CaCO}_3$  ή ένας ορίζοντας ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου. Η συγκέντρωση μπορεί να είναι στον ορίζοντα C, αλλά και σε άλλους. Ο καλσικός ορίζοντας έχει δύο μορφές: 1<sup>η</sup>) Τα υποκείμενα υλικά να έχουν λιγότερο ανθρακικό ασβέστιο από τον καλσικό ορίζοντα. Αυτή η μορφή καλσικού ορίζοντα περιλαμβάνει ορίζοντες δευτερογενούς εμπλουτισμού σε  $\text{CaCO}_3$  που έχουν 15 εκ. ή περισσότερο σε πάχος και έχουν  $\text{CaCO}_3$ , 15% μεγαλύτερο από τον C ορίζοντα, 2<sup>η</sup>) Ο καλσικός ορίζοντας είναι 15 εκ. ή περισσότερο παχύς, έχει  $\text{CaCO}_3$  15% ή περισσότερο και περιέχει 5% ή περισσότερο, κατ όγκο, δευτερογενές  $\text{CaCO}_3$  σαν θρόμβους ή μαλακό υπό μορφή σκόνης. Οι πετροκαλσικοί ορίζοντες είναι συνεχείς, τσιμεντοποιημένοι ή σκληροί Καλσικοί ορίζοντες που περιέχουν  $\text{CaCO}_3$  και  $\text{MgCO}_3$ .

Ο αρχικός σχηματισμός και η περαιτέρω ανάπτυξη του καλσικού ορίζοντα είναι το αποτέλεσμα, κλίματος, χρόνου, μητρικού υλικού και εδαφικών αντιδράσεων. Στις περιοχές του Μ. Μοναστηρίου και Στεφανοβίκειου στο νομό Μαγνησίας ανοίχτηκαν εδαφοτομές με σκοπό να καθορισθεί, τότε οι πλούσιες συγκεντρώσεις σε  $\text{CaCO}_3$  είναι Καλσικοί ορίζοντες και τότε αποθέσεις, και να παρουσιασθεί ένα νέο μοντέλο σχηματισμού του πετροκαλσικού ορίζοντα (Σγούρας 2002). Σύμφωνα με αυτή την έρευνα η σχέση μεταξύ βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, απορροής, γεωμορφολογίας, υπόγειας στάθμης νερού και η σύσταση του μητρικού υλικού παίζουν σημαντικό ρόλο στη Θεσσαλική περιοχή για τη δημιουργία καλσικών οριζόντων. Οι συγκεντρώσεις του ανθρακικού ασβεστίου στους Ν. Λάρισας και Μαγνησίας είναι από απλές έως πολύπλοκες, στον τρόπο προέλευσης, και υπάρχει συχνά πρόβλημα στη διάκριση των διαφόρων μορφών που παρουσιάζονται. Οι αγροτικές εκτάσεις βρίσκονται σε πεδινή καθώς και σε λοφώδη περιοχή. Το πεδινό τμήμα αποτελείται από Πλειστοκαινικές και πρόσφατες Αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ η λοφώδης περιοχή από Πλείο-Πλειστοκαινικές και πρόσφατες Αλλουβιακές αποθέσεις (Σγούρας 2002). Πολλές φορές κάτω από το έδαφος συναντούμε λιμναίες αποθέσεις η ποτάμιες στρώσεις πλούσιες σε  $\text{CaCO}_3$ , σε ποικίλο βάθος από την επιφάνεια (Πίνακας 2). Στη λοφώδη περιοχή το σύστημα είναι πιο πολύπλοκο, διότι εκτός από τους τυπικούς καλσικού ορίζοντες, υπάρχουν και συγκεντρώσεις  $\text{CaCO}_3$  που αποτελούν μητρικό εδαφικό υλικό. Στις λοφώδεις περιοχές διαβρώνεται το έδαφος στις πλαγιές και ανάλογα με τη κλίση αποκαλύπτεται στην επιφάνεια ο Β ορίζων ή ο καλσικός ορίζων. Οι Καλσικοί ορίζοντες ακολουθούν συνήθως την τοπογραφία του ανάγλυφου της περιοχής και παρουσιάζονται σαν μαλακοί ορίζοντες ή σαν πετροκαλσικοί. Τα εδάφη των δύο

ανωτέρω νομών είναι Entisols, Inceptisols, Alfisols, Vertisols και Molisols. (Ι.Χ.Τ.Ε.Λ., 1989).

**Πίνακας 2.** Εδαφοτομές στην περιοχή Μαγνησίας (Σγούρας 2002).

| ΝΟΜΟΣ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ   |             |                 |                        |           |   |             |                 |                        |           |
|---|-------------|-----------------|------------------------|-----------|---|-------------|-----------------|------------------------|-----------|
| Εδαφοτομή : P <sub>7</sub><br>Περιοχή : Μ. Μοναστηρίου<br>Τάξη εδάφους: Entisol |             |                 |                        |           | Εδαφοτομή : P <sub>8</sub><br>Περιοχή : Στεφανοβίκαιο<br>Τάξη εδάφους: Inceptisol |             |                 |                        |           |
| Ορίζων  | Βάθος<br>cm | Κοκ/κή<br>κλάση | CaCO <sub>3</sub><br>% | pH<br>1:5 | Ορίζων  | Βάθος<br>cm | Κοκ/κή<br>κλάση | CaCO <sub>3</sub><br>% | pH<br>1:5 |
| Ap  | 0-35        | C               | 1,47                   | 7,3       | Ap  | 0-20        | CL              | 18,69                  | 7,7       |
| Ck1   | 35-65       | CL              | 37,8                   | 8,0       | Abk   | 20-40       | CL              | 17,64                  | 7,9       |
| Ck2   | 65-93       | CL              | 28,56                  | 8,2       | Bwk1  | 40-66       | CL              | 16,8                   | 8,0       |
| Ck3   | 93-130      | SCL             | 21                     | 8,2       | Bw2   | 66-102      | SCL             | 14,49                  | 8,1       |
|   |             |                 |                        |           | Ck1   | 102-124     | SCL             | 18,9                   | 8,3       |
|   |             |                 |                        |           | Ck2   | 124-150     | SCL             | 25,41                  | 8,3       |



**Σχήμα 1.** Στάδια σχηματισμού πετροκαλσικού ορίζοντα σε βαθιές αποθέσεις (Σγούρας 2002).

Μια ιδιαίτερη μορφή σχηματισμού πετροκαλσικού ορίζοντα σε βαθιές αποθέσεις εντοπίσθηκε στη λοφώδη περιοχή Δυτικά του Μ. Μοναστηρίου, και για τον σχηματισμό της προτείνεται το μοντέλο του σχήματος 2. Το στάδιο (1) αντιπροσωπεύει τη στρωμάτωση του μητρικού υλικού πριν από την έναρξη της εδαφογένεσης. Το μητρικό υλικό είναι πλούσιο σε CaCO<sub>3</sub>, και διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης. Στο στάδιο (2) αρχίζει η διαδοχική ύγρανση και ξήρανση του μητρικού υλικού και η έκπλυση του CaCO<sub>3</sub> σε βαθύτερα στρώματα. Το μητρικό υλικό C<sub>2</sub> είναι ψαμμιτικής φύσεως, με μικρές ρωγμές που επιτρέπουν τη συγκέντρωση CaCO<sub>3</sub> πάνω και μέσα σε αυτό. Στα στάδια (3) και (4) το άνωθεν μητρικό υλικό εξακολουθεί να προμηθεύει CaCO<sub>3</sub> στα κατώτερα στρώματα που αρχίζουν να

σχηματίζουν ένα καλσικό ορίζοντα που αποτελείται από μεγάλα πισσολιθικά συγκρίματα  $\text{CaCO}_3$ , ενώ ήδη συμβαίνει μια διάλυση και επαναπόθεση του  $\text{CaCO}_3$  στην κάτω επιφάνεια του μητρικού υλικού C2 και κατά πάσα πιθανότητα και μια αντικατάσταση των πυριτικών ορυκτών από ασβεστίτη, του οποίου η υψηλή συγκέντρωση έχει την τάση να διαλύει τα πυριτικά ορυκτά, των οποίων το διάλυμα μεταφέρεται βαθύτερα, (Millot, 1979, Ruellan, 1980). Στο στάδιο (5) φαίνεται η τελική συνένωση των πισσολιθικών συγκριμάτων και ο σχηματισμός μιας συμπαγούς μάζας  $\text{CaCO}_3$  με κυματοειδή την επάνω και κάτω επιφάνεια.

Εφόσον εξακολουθεί η μετακίνηση του  $\text{CaCO}_3$  θα πρέπει να σχηματισθεί αργότερα, ένα στρωσιγενές κάλυμμα επάνω στον πετροκαλσικό ορίζοντα, λόγω της μη διαπερατότητας του. Με την πάροδο του χρόνου και με επανειλημμένη ξήρανση και ύγρανση, το ανθρακικό ασβέστιο τσιμεντοποιείται και σχηματίζει ένα αδιαπέραστο στρώμα. Δεν υποστηρίζεται ότι όλοι οι πετροκαλσικοί ορίζοντες ή οι περισσότεροι από αυτούς σχηματίζονται με αυτόν τον τρόπο, αλλά μόνο να σημειωθεί, η σπουδαιότητα της δυσκολίας μετακίνησης του νερού, σε τέτοιου είδους σχηματισμούς σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα.

#### 1.4 Τα βαρέα μέταλλα.

Η μελέτη της ρύπανσης των εδαφών από τα βαρέα μέταλλα έχει αποκτήσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ο όρος βαρέα μέταλλα περιλαμβάνει μια μεγάλη ομάδα μεταλλικών και μεταλλοειδών κατιόντων που παρουσιάζουν βιολογικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον. Τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται από ατομική πυκνότητα μεγαλύτερη από 5 ή 6  $\text{gr}\cdot\text{m}^{-3}$  (Phipps, 1981). Τα φωσφορικά λιπάσματα που χρησιμοποιούνται περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, η δε χρήση αυτών στη λίπανση των καλλιεργειών αποτελεί ένα βασικό παράγοντα ρύπανσης των γεωργικών εδαφών (Rothbaum et al., 1986, Voulgaropoulos et al., 1991, Semu and Singh, 1996). Ειδικά ο καπνός (*Nicotiana tabacum*) έχει την τάση να συσσωρεύει στα φύλλα του μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων και κυρίως καδμίου (Wagner et al., 1988, Tso, 1990, Ruso et al., 2001). Οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων είναι δυνατό να μεταφερθούν με το κάπνισμα στον άνθρωπο και να προκαλέσουν βλάβες στην υγεία του (Bell and Mulchi, 1990, Nelson 2001, Favatier and Polla, 2001). Η ρύπανση των ελληνικών οικοσυστημάτων με βαρέα μέταλλα θεωρείται χαμηλή, αν και έχουν επισημανθεί υψηλές συγκεντρώσεις στους ποταμούς Αξιό, Έβρο και στις λίμνες

Κορώνεια, Βιστονίδα, Καστοριά και Βεγορίτιδα (Βασιλικιώτης κ.α., 1989). Σε ύδατα άρδευσης και σε εδάφη της Θεσσαλίας (περιοχή Λάρισας, Καρδίτσας και Τρικάλων) προσδιορίστηκαν βαρέα μέταλλα σε χαμηλές τιμές συγκεντρώσεων, κατά τη διάρκεια των ετών 1998-2000 (Μήτσιος και συνεργάτες, 2000). Στην λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηριά Βόλου βρίσκονται οι δύο βιομηχανικές ζώνες της πόλης του Βόλου. Στη δεύτερη βιομηχανική περιοχή, στον Άγιο Γεώργιο Βελεστίου, βρίσκονται εγκατεστημένες βαριές βιομηχανίες κατεργασίας σιδήρου, γυαλιού, αλουμινίου και παρασκευής χημικών λιπασμάτων. Άλλες πιθανές πηγές ρύπων στην ίδια περιοχή είναι τα οικιακά απόβλητα διαφόρων οικισμών όπως του Αγίου Γεωργίου, του Βελεστίου και του Διμηνίου που βρίσκονται στις όχθες του χειμάρρου Ξηριά Βόλου (Γάτσιος, 2003).

Η συμπεριφορά των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, όταν αυτά προστίθενται ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, μπορεί να εκτιμηθεί με διάφορες μεθόδους. Η μετακίνηση τους σε πορώδη υλικά, όπως είναι το έδαφος, εξαρτάται από μια χορεία χημικών και βιολογικών διεργασιών, όπως η προσρόφηση τους από τις κολλοειδείς επιφάνειες της στερεάς φάσης του εδάφους, η καθίζηση και συμπλοκοποίηση κτλ. Το καθεστώς χημικής ισορροπίας που θα επικρατήσει μεταξύ των προσροφημένων ποσοτήτων μετάλλων στις κολλοειδείς επιφάνειες και των αντίστοιχων ποσοτήτων στο εδαφικό διάλυμα θα καθορίσει αν η διαθεσιμότητα τους στο περιβάλλον αυξηθεί ή μειωθεί (Eche-varria et al., 1998). Ωστόσο, η μετακίνηση ρύπων όπως τα βαρέα μέταλλα ενδέχεται να έχει σημαντικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, καθώς έχει βρεθεί ότι μπορούν να μετακινηθούν στο εδαφικό προφίλ σε ανησυχητικά υψηλές ποσότητες (Barbarick et al., 1998; Guisquiani et al., 1992; Li and Shuman, 1996; Christensen et al., 1996), ιδίως όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές (υψηλά ρυπαντικά φορτία, υψηλές βροχοπτώσεις, αμμώδη εδάφη, χαμηλά pH κτλ.). Αλλά δεν είναι απαραίτητο όλες αυτές οι συνθήκες να επικρατούν ταυτόχρονα. Έχει βρεθεί ότι μόνο το υψηλό ρυπαντικό φορτίο, κατά τη διάρκεια αρκετού χρόνου, οδηγεί σε σημαντική μετακίνηση βαρέων μετάλλων βαθιά στο εδαφικό προφίλ, ακόμα και όταν οι άλλοι παράγοντες δεν είναι ευνοϊκοί (έδαφος όχι αμμώδες, ουδέτερο pH, υψηλό ποσοστό οργανικής ουσίας) (Antoniadis and Alloway, 2003).

### 1.4.1 Χαλκός

Πηγές του Cu στο έδαφος αποτελούν το μητρικό υλικό, οι αποθέσεις της αιωρούμενης σκόνης τα ατμοσφαιρικά κατάκρημνίσματα, τα διάφορα χαλκούχα γεωργικά σκευάσματα, καθώς και τα λύματα βιολογικών καθαρισμών (Baker and Senft, 1990). Οι παράγοντες όμως που επηρεάζουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε διαθέσιμες για τα φυτά μορφές Cu είναι οι ακόλουθοι: Οι συνθήκες αερισμού του εδάφους, το pH του εδάφους, η οργανική ουσία, η υφή και η δομή του εδάφους, το είδος των ορυκτών της αργίλου, η θερμοκρασία του εδάφους, κ.α. (Hogg et al., 1993; Αλιφραγκης και Παπαμίχος, 1994; Ma et al., 1997; Impellitteri et al., 2002; Wu et al., 2002).

Φαινόμενα τοξικότητας Cu παρουσιάζονται σε περιοχές, με έντονη βιομηχανική ή μεταλλευτική δραστηριότητα (Bagatto and Shorthouse, 1991; Barcan, 2002), σε αγροτικές περιοχές με έντονη χρήση χαλκούχων μυκητοκτόνων (Deluisa et al., 1996, Brun et al., 2001) και σε περιοχές με συχνή απόρριψη αστικών λυμάτων (McGrath et al., 1995; Kunito et al., 2001; Bhogal et al., 2003). Τα συμπτώματα τοξικότητας του Cu συνδέονται συνήθως με τη χλώρωση του Fe και συνοδεύονται με περιορισμό της αύξησης των κλαδιών, θυσανόμορφη ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος του φυτού (Αλιφραγκης και Παπαμίχος, 1994), χαμηλή επιβίωση των φυτικών ειδών, χαμηλή ολική βιομάζα, καθυστέρηση στην ανθοφορία και καρποφορία (Brun et al., 2002), καθώς επίσης και με μικρά παχιά χλωρωτικά φύλλα και με απόκλιση του αριθμού και του όγκου των μεσοφυλλικών κυττάρων. Αντίστοιχα, στο έδαφος αναστέλλεται ή περιορίζεται η πρόσληψη και η δέσμευση του N, η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας και οι ενζυμικές δραστηριότητες, ενώ μειώνεται και ο ρυθμός ανοργανοποίησης N, P και S (Babich and Stotzky, 1985; Kostov and Van Cleemput, 2001).

Η αντοχή των φυτών στην τοξικότητα του Cu εξαρτάται από το είδος (π.χ. *Phragmites australis*, είδη του γένους *Brassica*) (Ebbs and Kochian, 1997; Ye et al., 2003). Η μείωση της τοξικότητας του Cu στο έδαφος μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την αύξηση του pH του εδάφους με ασβέστωση (Yukselen and Alpaslan, 2001), είτε με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους (σχηματισμός συμπλόκων).

### 1.4.2 Ψευδάργυρος

Όπως είναι γνωστό ο Ζη είναι ένα στοιχείο απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών. Σε τιμές pH < 7,7 επικρατεί το ιόν  $Zn^{2+}$  ενώ σε μεγαλύτερα pH το σύμπλοκο  $Zn(OH)^+$ . Η προσρόφηση του Ζη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το ποσοστό της αργίλου στο έδαφος, το είδος των ορυκτών της αργίλου, από το pH του εδάφους (Barrow 1981, Huang κ.α.1984), από τη περιεκτικότητα του εδάφους σε  $CaCO_3$ , σε οργανική ουσία (Shuman 1975, Hickey και Kittrick 1984), και από ιόντα που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα (Barrow 1981, Mesquita και Suva 1996, Pando και Guadalix 1996 και Παυλάτου και Κιοσέ 1998).

Ο ψευδάργυρος λειτουργεί ως καταλύτης, αλλά και ως δομικό συστατικό σε μεγάλο αριθμό ενζύμων τα οποία συμμετέχουν στο μεταβολισμό των ζωντανών οργανισμών. Όταν η συγκέντρωση του Ψευδαργύρου υπερβεί μια κρίσιμη τιμή (συνήθως αναφέρονται τα  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  ή  $\text{mg L}^{-1}$ , αλλά ενδέχεται να είναι διαφορετική ανάλογα με το είδος του οργανισμού), τότε είναι δυνατό να δημιουργηθούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα εξαιτίας της παρουσίας του ψευδαργύρου σε εδάφη, ύδατα (επιφανειακά και υπόγεια), αλλά και σε φυτά (Alloway, 1995). Οι επιβλαβείς επιδράσεις των βαρέων μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου και του Ψευδαργύρου, στο περιβάλλον είναι ευρύτατα γνωστές (Abollini et al., 2002; Μήτσιος, 2004). Στα εδάφη έχει υπολογιστεί ότι η μέση συγκέντρωση του ψευδαργύρου κυμαίνεται από 10 έως  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  ξηρού εδάφους, ενώ η συνηθέστερη τιμή είναι τα  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  ξηρού εδάφους (Kabata and Pendias, 1992).

### 1.4.3 Μαγγάνιο

Το μαγγάνιο παρ' ότι δεν απαντάται σε μεγάλες ποσότητες στα εδάφη, αποτελεί κοινό στοιχείο των περισσότερων εδαφών (McDaniel and Buol, 1991). Ο αριθμός όμως των επιστημονικών εργασιών για τα οξειδία του μαγγανίου είναι περιορισμένος και το μεγαλύτερο μέρος αυτών αναφέρεται σε ατελώς ή κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό τους απαντάται σε διακριτές ζώνες συσσώρευσης (συγκρίματα) (Blume and Schwertmann, 1969; Birnie and Paterson, 1991).

Η κατανομή του μαγγανίου στην εδαφική κατατομή επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες που επικρατούν στο εδαφικό περιβάλλον (McBride, 1994; Durn et al., 2001) και από τις πεδογενετικές διεργασίες, με αποτέλεσμα η κατανομή των οξειδίων του μαγγανίου με το βάθος να χρησιμοποιείται σαν δείκτης εξέλιξης των εδαφών (Blume and Schwertmann, 1969). Σύμφωνα με τους White and Dixon (1996) τα οξειδία

του μαγγανίου παρουσιάζουν πεδολογικό και γεωχημικό ενδιαφέρον καθώς βρίσκονται μεταξύ των πρώτων κρυσταλλικών φάσεων που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της αποσάθρωσης. Οι McDaniel and Buol (1991) αναφέρουν ότι το μαγγάνιο που απελευθερώνεται από την αποσάθρωση πρωτογενών ορυκτών κινείται γρήγορα σε όξινα εδαφικά συστήματα και οι δευτερογενείς συγκεντρώσεις στα εδάφη ελέγχονται και από άλλους παράγοντες εκτός από την ορυκτολογία του μητρικού υλικού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα του αφομοιώσιμου για τα φυτά Mn στο έδαφος είναι πολλοί. Μεταξύ αυτών οι σημαντικότεροι είναι οι εξής: η υγρασία του εδάφους, το pH, η οργανική ουσία, η υφή και η δομή του εδάφους, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, οι μικροοργανισμοί του εδάφους, το είδος της αζωτούχου λίπανσης, η απολύμανση του εδάφους, η παρουσία μυκοριζών, οι εκκρίσεις των ριζών, η περιεκτικότητα του εδάφους σε φωσφορικά ανιόντα (Collins and Buol, 1970; Cotter and Mishra, 1968; Gotoh and Patrick, 1972; Grass et al., 1973; Smith and Paterson, 1990; Αλιφραγκής και Παπαμίχος, 1994; Tong et al., 1997).

Τα συμπτώματα της τοξικότητας Mn, τις περισσότερες φορές, δεν είναι τυπικά και είναι δυνατόν να διακριθούν σε 3 ομάδες: 1<sup>η</sup>) συμπτώματα σε φυσιολογικά γηρασμένους - μη αναπτυσσόμενους φυτικούς ιστούς. Τα συμπτώματα εμφανίζονται ως διακριτές καστανόμαυρες κηλίδες και χλωρωτικές περιφερειακές κηλιδώσεις στα φύλλα (Smiley et al., 1973). 2<sup>η</sup>) περιορισμός της αύξησης και καταστροφή των νεαρών εκπυτυσσόμενων φύλλων (βαμβάκι, σόγια) (Smiley et al., 1973) και 3) χλώρωση των νεαρών φύλλων (Kitao et al., 2001). Το σύμπτωμα αυτό αναφέρεται και ως έλλειψη Fe οφειλόμενη σε τοξικότητα Mn και υποδηλώνει ανταγωνισμό ανάμεσα στα δύο στοιχεία (Horst, 1988).

Σε περιπτώσεις υψηλών συγκεντρώσεων διαλυτού Mn στο έδαφος παρεμποδίζεται η ανάπτυξη της ρίζας των φυτών, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται συσσώρευση οξειδωμένων μορφών Mn (MnO<sub>2</sub>) στις ρίζες με σκούρο μεταχρωματισμό. Τα φυτά αναπτύσσουν ορισμένους μηχανισμούς (γενετικούς και φυσιολογικούς) ως αντίδραση στις τοξικές συγκεντρώσεις Mn. Οι σπουδαιότεροι απ<sup>1</sup> αυτών είναι: 1) Η οξείδωση του διασθενούς Mn σε τετρασθενές Mn στις ρίζες, μορφή μη ευκίνητη στα φυτά (El-Jaoual and Cox, 1998). 2) Η μεταφορά του Mn σε ξυλώδη τμήματα του φυτού ή στους βλαστούς και η εκεί ακινητοποίηση του (Blarney et al., 1986; Horiguchi, 1987; El-Jaoual and Cox, 1998). Τέλος δε, παρατηρείται και γενετική αντοχή των φυτών στην περίσσεια του Mn (El-Jaoual and Cox, 1998).



#### 1.4.4 Μόλυβδος

Στις περασμένες δεκαετίες, ο μόλυβδος (Pb) ήταν από τους πιο διαδεδομένους ρυπαντές, μεταξύ των βαρέων μετάλλων, για τα οικοσυστήματα. Ο Μόλυβδος σε μη ρυπασμένα εδάφη βρίσκεται σε συγκεντρώσεις  $< 20 \text{ mg Pb kg}^{-1}$  εδάφους, σε αστικές κυρίως περιοχές οι συγκεντρώσεις μολύβδου είναι πολύ μεγαλύτερες (ατμοσφαιρική ρύπανση). Ο Μόλυβδος στο περιβάλλον αλλά και στο έδαφος έχει μεγάλο χρόνο παραμονής σε σχέση με άλλους ρυπαντές εξαιτίας της μικρής του διαλυτότητας και της δυσκολίας των μικροοργανισμών να τον μετουσιώσουν. Επομένως παραμένει βιο - διαθέσιμος για μεγάλο χρονικό διάστημα (Μήτσιος 2003).

Η επικινδυνότητα του Pb έγκειται στη δράση του στο νευρικό σύστημα του ανθρώπου (Matta et al., 1996). Μεγάλες συγκεντρώσεις Pb μπορούν να επηρεάσουν τη μικροπανίδα και χλωρίδα του εδάφους (Tyler et al., 1989). Η είσοδος του Pb σ' ένα εδαφικό σύστημα γίνεται κυρίως μέσω των ξηρών και υγρών αποθέσεων που μπορεί να προέρχονται από κοντινή πηγή ρύπανσης αλλά και από μακρινή. Ειδικά τα σωματίδια μικρής διαμέτρου μπορούν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις (Schlesinger et al., 1974; Sturges and Barrie 1989). Η κύρια πηγή εκπομπών Pb είναι η καύση ορυκτών καυσίμων (Hildebrand και Blum, 1975). Στο τέλος της δεκαετίας του 1980 εκτιμήθηκε ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές Pb ήταν 20 φορές μεγαλύτερες από οποιαδήποτε φυσική εκπομπή (Nriagu, 1989). Η αλλαγή του τύπου βενζίνης για μηχανές εσωτερικής καύσεως έχει οδηγήσει σε δραστική μείωση των εκπομπών Pb, με συνέπεια τη μείωση της συγκεντρώσεως του στις ξηρές και υγρές αποθέσεις (Miller and Friedland, 1994). Ο Pb φτάνει στο έδαφος μέσω των ξηρών αποθέσεων, της βροχής και της φυλλό-πτωσης. Τα περισσότερα τοξικά στοιχεία όπως άλλωστε και ο Pb ακινητοποιούνται στην επιφάνεια του εδάφους κυρίως εξαιτίας της ύπαρξης οργανικής ουσίας η οποία δημιουργεί με τα μέταλλα σύμπλοκες ενώσεις και ιόντα (Merry, Tiller και Alston, 1983). Έχει καθοριστεί από πολλούς ερευνητές ένα αρκετά μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων Pb που μπορεί να είναι τοξικό για τα φυτά. Τα τοξικά συμπτώματα που εμφανίζονται στα φυτά από τη πρόσληψη Pb είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Τα χαρακτηριστικά συμπτώματα αυτών είναι το σκούρο πράσινο χρώμα των φύλλων, η μάρανση των παλαιότερων φύλλων, η μη κανονική ανάπτυξη των φύλλων και ο σχηματισμός μικρών ριζών με καφέ χρώμα (Μήτσιος 2003).

### 1.4.5 Κάδμιο

Η τοξική δράση του καδμίου στα ζώα και στον άνθρωπο είναι αθροιστική. Για το λόγο αυτό έχει μελετηθεί εκτεταμένα η περιεκτικότητα των φυτών και των φυτικών τροφών σε Κάδμιο.

Η περιεκτικότητα σε κάδμιο των τροφών φυτικής προέλευσης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Σε μη ρυπασμένα εδάφη έχει υπολογιστεί ότι η υψηλότερη συγκέντρωση βρίσκεται στα φύλλα από σπανάκι ( $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$  χλωρής μάζας) και στα φύλλα του μαρουλιού ( $0,66 \text{ mg kg}^{-1}$  ξηρής ουσίας,  $3,00 \text{ mg kg}^{-1}$  ξηρής ουσίας) (Μήτσιος 2004).

Σε περιοχές ρυπασμένες, τα φυτά εφοδιάζονται με κάδμιο από το έδαφος και από τον αέρα, αλλά και σε πολλές περιπτώσεις από το ύδωρ που χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών (McRaughlin *et al.*, 1999). Οι Cunningham *et al.* (1975), συμπεραίνουν ότι το σημαντικότερο τοξικό σύμπτωμα το οποίο μπορεί να εμφανιστεί στα φυτά είναι η αναστολή της σύνθεσης της ανθοκυανίνης και της χλωροφύλλης.

Η ποσότητα της χλωροφύλλης που σχηματίζεται βρέθηκε ότι είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του καδμίου που βρίσκεται στους φυτικούς ιστούς και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την υψηλότερη κριτική συγκέντρωση του καδμίου στα φυτά (Burton *et al.* 1986).

Οι Kloke *et al.* (1984), υπολόγισαν ότι η συγκέντρωση του καδμίου στην οποία εκδηλώνονταν τοξικά συμπτώματα, κυμαίνεται από 5 μέχρι  $10 \text{ mg/kg}$  ξηρής ουσίας σε ευαίσθητα είδη φυτών, ενώ οι Machicol και Beckett (1985), ανέφεραν ότι η κριτική συγκέντρωση του καδμίου κυμαίνεται από 10 μέχρι  $20 \text{ mg/kg}$  ξηρής ουσίας.

Τα συμπτώματα που εμφανίζονται στα φυτά σε υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, είναι: καθυστέρηση της ανάπτυξης, καταστροφή των ριζών, χλώρωση των φύλλων και δημιουργία κόκκινων-καφέ χρωματισμών στα άκρα των φύλλων. Η τοξική δράση του καδμίου στα φυτά οδηγεί σε παρεμπόδιση του μεταβολισμού των θρεπτικών στοιχείων, παρεμποδίζει τη φωτοσύνθεση, παρεμποδίζει την αναπνοή και μειώνεται η διαπερατότητα της κυτταροπλασματικής μεμβράνης.

Το κάδμιο δεν είναι απαραίτητο στοιχείο για της μεταβολικές διαδικασίες των φυτών, ωστόσο όμως προσλαμβάνεται από τις ρίζες και από τα φύλλα των φυτών. Επίσης συσσωρεύεται στους μικροοργανισμούς του εδάφους. Ο βασικός παράγοντας που ελέγχει την πρόσληψη του καδμίου από τα φυτά, είναι η τιμή του pH

του εδάφους. Οι Kitagishi και Yamane (1981), αναφέρουν ότι η πρόσληψη του καδμίου από σπόρους ρυζιού ήταν μεγαλύτερη σε τιμές pH από 4,5 μέχρι 5,5. Παρόλα αυτά υπάρχουν και αντικρουόμενα αποτελέσματα στα οποία παρουσιάζεται ότι το κάδμιο είναι ευκίνητο και σε αλκαλικά εδάφη εξαιτίας του σχηματισμού συμπλόκων. Οι ερευνητές Babich και Stotzky (1978) και οι Chancy και Hornick (1977), υποστηρίζουν ότι και το κάδμιο είναι ευκίνητο σε αλκαλικά εδάφη εξαιτίας του σχηματισμού συμπλόκων.

Οι Kitagishi και Yamane (1981), ανέφεραν ότι όταν το δυναμικό οξειδοαναγωγής των εδαφών ελαττώνεται κατά 0,14 Volt, η αναλογία του υδατοδιαλυτού καδμίου ελαττώνεται, κυρίως εξαιτίας της αναγωγής των θειικών σε θειούχα ιόντα. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του καδμίου που περιέχεται στο εδαφικό διάλυμα, τόσο αυξάνεται και η πρόσληψη του καδμίου από τα φυτά. Τα διάφορα είδη φυτών προσλαμβάνουν διαφορετικές ποσότητες καδμίου. Η χαμηλότερη ποσότητα καδμίου έχει παρατηρηθεί στα φυτά ρυζιού και στο τριφύλλι και η υψηλότερη στο σπανάκι και στο γογγύλι. Το κάδμιο είναι εύκολο να μετακινηθεί και μέσα στο φυτό από τις ρίζες προς τα φύλλα, όταν η συγκέντρωση του καδμίου στο εδαφικό διάλυμα είναι υψηλή.

Από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες ποικιλίες καπνού, σχετικά με την πρόσληψη Cd από τις ποικιλίες Burley, Virginia και Ελασσόνα, διαπιστώθηκε ότι η πρόσληψη του Cd ήταν διαφορετική σε κάθε ποικιλία. Συγκεκριμένα μεγαλύτερες ποσότητες Cd ( $1,7 \text{ mg Cd kg}^{-1} \text{ Ξ.Ο.}$ ) από τις ποικιλίες Virginia ( $1 \text{ mg Cd kg}^{-1} \text{ Ξ.Ο.}$ ) και Ελασσόνα ( $1,6 \text{ mg Cd kg}^{-1} \text{ Ξ.Ο.}$ ) (Golia E.E., I.K. Mitsios, and C.D. Tsantilas, Mitsios et al., 2003).

Το πιο σημαντικό βιοχημικό χαρακτηριστικό του καδμίου είναι η έντονη τάση για σχηματισμό δεσμών με τις σουφρίδρυλο ομάδες αρκετών ενώσεων (Lande-Hesse, Dunemann και Schwedt, 1994). Επίσης, το κάδμιο δημιουργεί δεσμούς με τις πλευρικές αλυσίδες των πρωτεϊνών καθώς και με φωσφορικές ομάδες.

Οι ερευνητές Dabin *et al.* (1978) και Braude *et al.* (1980), ανέφεραν ότι το κάδμιο συγκεντρώνεται στα πρωτεϊνικά κλάσματα των φυτών. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα προβλήματα που παρουσιάζονται στην παραγωγή. Η μεγάλη τοξική δράση του καδμίου στα φυτά οφείλεται στο ότι εμποδίζει τη δράση πολλών ενζύμων.

Το κάδμιο επίσης αναστέλλει τη μεταγραφή του DNA στους μικροοργανισμούς και παρεμποδίζει τη συμβίωση μικροβίων και φυτών. Οι McKenny

και Vrisacker (1985), απέδειξαν ότι το κάδμιο είναι ενεργός παρεμποδιστής της βιολογικής αναγωγής των νιτρωδών ιόντων σε μονοξείδιο του αζώτου.

#### 1.4.6 Σίδηρος

Ο σίδηρος είναι απαραίτητος στην ανάπτυξη τόσο των ζώων όσο και των φυτών, γιατί εμπλέκεται σε μεγάλο αριθμό βιοχημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται σ' αυτά. Η προέλευση του σιδήρου στα εδάφη είναι κατά κύριο λόγο γεωχημική, δηλαδή οφείλεται στην αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων. Ο σίδηρος είναι ένα από τα βασικά συστατικά της λιθόσφαιρας, όπου κατέχει ποσοστό 5%. Βρίσκεται κυρίως στα ηφαιστειογενή πετρώματα (Μήτσιος 2004).

Η γεωχημεία του σιδήρου είναι πολύπλοκη και καθορίζεται από την εύκολη εναλλαγή των αριθμών οξειδωσης του σιδήρου ανάλογα με τις φυσικοχημικές συνθήκες. Η χημική συμπεριφορά του σιδήρου είναι στενά συνδεδεμένη με τον κύκλο των στοιχείων οξυγόνο, θείο και άνθρακα. Οι αντιδράσεις του σιδήρου στις διαδικασίες αποσάθρωσης εξαρτώνται από τη σχέση που συνδέει την τιμή του pH και το κανονικό δυναμικό οξειδοαναγωγής του εδάφους, καθώς και από τον αριθμό οξειδωσης που έχει ο σίδηρος στις ενώσεις του. Στα εδάφη υπάρχουν ορυκτά του σιδήρου τα οποία χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό των εδαφών, αλλά και των εδαφικών οριζόντων.

Τα ορυκτά του σιδήρου που βρίσκονται στα εδάφη είναι τα εξής:

- ❖ **Αιματίτης ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ):** απαντάται σε εδάφη ξηρά και ημίξηρα και προέρχεται απευθείας από το μητρικό υλικό.
- ❖ **Μαγκεμίτης ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ):** σχηματίζεται σε ισχυρά αποσθρωμένα εδάφη τροπικών περιοχών και συχνά βρίσκεται μαζί με τον αιματίτη, το μαγνητίτη και τον γκαιτίτη.
- ❖ **Σιδηρουδρίτης ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ):** είναι ένα κοινό, αλλά όχι και τόσο σταθερό ορυκτό του σιδήρου. Σε θερμές περιοχές μετασχηματίζεται σε αιματίτη, ενώ σε υγρές σε γκαιτίτη.
- ❖ **Μαγνητίτης ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ):** προέρχεται απευθείας από το μητρικό υλικό. Στα εδάφη συχνά απαντάται μαζί με το μαγκεμίτη.
- ❖ **Γκαιτίτης ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ):** είναι το συνηθέστερο ορυκτό του σιδήρου σε εδάφη περιοχών με μεγάλες κλιματικές διαφοροποιήσεις, από το εύκρατο

κλίμα μέχρι και το τροπικό. Ο κρυσταλλικός τύπος καθώς και η χημική σύσταση του γκαιίτη είναι δυνατό να διαφέρουν, ανάλογα με το περιβάλλον μέσα στο οποίο πραγματοποιήθηκε η κρυστάλλωση.

- ❖ **Λεπίδοκροκίτης ( $\gamma$ -FeOOH):** Απαντάται σε εδάφη τα οποία δεν στραγγίζουν καλά και σε εδάφη υγρών περιοχών. Ο σχηματισμός του ορυκτού αυτού ευνοείται από τις χαμηλές τιμές του pH του εδάφους, τις χαμηλές θερμοκρασίες και την απουσία ιόντων  $\text{Fe}^{+3}$  (αναγωγικές συνθήκες).
- ❖ **Ιλμενίτης (FeTiOs):** το ορυκτό αυτό δεν απαντάται συχνά στα εδάφη, δεν αποσαθρώνεται εύκολα και προέρχεται από πυριγενή μαγματικά πετρώματα.
- ❖ **Πυρίτης ( $\text{FeS}_2$ ), ο θειούχος σίδηρος ( $\text{FeS}$ ) και ο τζαροσίτης ( $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ )** βρίσκονται σε εδάφη που έχουν υψηλά ποσοστά θείου.

Εδάφη που είναι δυνατό να εμφανίσουν τροφοπενίες σιδήρου στα καλλιεργούμενα φυτά είναι τα κατωτέρω:

- Εδάφη με υψηλές τιμές pH (αλκαλικά εδάφη).
- Εδάφη τα οποία δεν αρδεύονται ικανοποιητικά.
- Εδάφη με υψηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου, του μαγγανίου, υψηλή περιεκτικότητα σε μαγγάνιο, φώσφορο και  $\text{HCO}_3$ .

Τα συμπτώματα που εμφανίζονται στα φυτά εξαιτίας της έλλειψης σιδήρου είναι η σημαντική μείωση της χλωροφύλλης στα πράσινα μέρη των φυτών. Τα συμπτώματα αυτά είναι γνωστά ως χλώρωση. Στις περιπτώσεις εκείνες που η χλώρωση δεν είναι έντονη, τα πράσινα μέρη των φυτών απώλεσαν το έντονο χρώμα τους. Στην περίπτωση αυτή η χλώρωση δεν είναι εύκολο να διαχωριστεί από την τροφοπενία του αζώτου ή και άλλων στοιχείων (Haas, 1942; Wallihan, 1955).

Το χαρακτηριστικό σύμπτωμα της τροφοπενίας του σιδήρου είναι ότι τα φύλλα δεν έχουν πράσινο χρώμα και αποκτούν παράλληλα κίτρινες κηλίδες, οι οποίες είναι δυνατό να επεκταθούν σε ολόκληρο το φυτό.

Φυτά δείκτες για την τροφοπενία του σιδήρου είναι το μπρόκολο (Wallace, 1951 και 1952), τα δημητριακά, τα ψυχανθή και τα εσπεριδοειδή (Μήτσιος 2004).

Η πρόσληψη του σιδήρου από τα φυτά είναι μεταβολική διαδικασία. Ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει την πρόσληψη σιδήρου από τα φυτά είναι η ικανότητα των ριζών να ανάγουν τα ιόντα του  $\text{Fe}^{+3}$  σε  $\text{Fe}^{+2}$  (Chaney *et al.*, 1972). Σε

συνήθεις τιμές pH του εδάφους, τα φυτά προσλαμβάνουν τον απαιτούμενο για την ανάπτυξη τους σίδηρο με τη μορφή οργανικών ενώσεων και συμπλόκων. Στο ξυλώδες παρέγχυμα, η μορφή του σιδήρου που κυριαρχεί είναι τα ιόντα του δισθενούς σιδήρου. Παρόλα αυτά η μετακίνηση του ελέγχεται από το σχηματισμό κιτρικών συμπλόκων, αλλά και ευδιάλυτων ferredixines. Εντός του φυτού ο σίδηρος δε μετακινείται ιδιαίτερα γρήγορα και γι αυτό προβλήματα τοξικότητας παρουσιάζονται στα πιο νέα φυτά (Scheffer *et al.*, 1979). Ο σίδηρος συμμετέχει σε μεγάλο αριθμό βιοχημικών αντιδράσεων και ελέγχει τις αντιδράσεις μετατροπής ενέργειας που είναι απαραίτητες για την σύνθεση και την ανάπτυξη των κυττάρων του φυτού (Boardman, 1975; Nicholas, 1975; Price *et al.* 1972; Markert, 1987).

Ο βιοχημικός ρόλος του σιδήρου στα φυτά συνοπτικά παρουσιάζεται ως εξής:

- Ο σίδηρος βρίσκεται στις πρωτεΐνες και συγκεντρώνεται κυρίως στους χλωροπλάστες των κυττάρων.
- Οι οργανικές σύμπλοκες ενώσεις του σιδήρου εμπλέκονται στο μηχανισμό μεταφοράς ηλεκτρονίων κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης.
- Nonheme σιδηροπρωτεΐνες ελέγχουν την αναγωγή των νιτρικών και των θειικών ιόντων.
- Ο σχηματισμός της χλωροφύλλης ελέγχεται από την παρουσία σιδήρου.
- Ο σίδηρος εμπλέκεται στο μεταβολισμό των νουκλεϊνικών οξέων.
- Τα ιόντα του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου έχουν δομικό ρόλο στα κύτταρα, αλλά συμμετέχουν και σε μεγάλο αριθμό πρωτεϊνών που δρουν καταλυτικά.

## 1.5 Οργανική Ουσία

Η πρώτη ύλη από την οποία προέρχεται η οργανική ουσία του εδάφους είναι τα υπολείμματα των ανώτερων φυτών, η κοπριά των ζώων κλπ. Τα οργανικά αυτά υπολείμματα σε κατάλληλες συνθήκες (αερισμός, θερμοκρασία και υγρασία) και με τη δράση των διαφόρων οργανισμών διασπώνται και σχηματίζουν υλικό που έχει βαθύ φαιό χρώμα. Το υλικό αυτό είναι η οργανική ουσία του εδάφους που είναι γνωστό και ως χούμος (humus). Η έκταση και ο ρυθμός της διάσπασης καθώς και οι ποσότητες και ιδιότητες του χούμου εξαρτώνται από τη σύσταση των οργανικών

υπολειμμάτων, από τη φύση και τη δραστηριότητα των ζώντων οργανισμών του εδάφους, καθώς και από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Οι ζώντες οργανισμοί του εδάφους είναι τα διάφορα ζώα, φύκη, μύκητες και βακτήρια (Μήτσιος 2001).

Τα διάφορα ζώα του εδάφους κατατεμαχίζουν τα οργανικά υπολείμματα, τα αναμιγνύουν στον πεπτικό τους σωλήνα με ένζυμα που παράγονται από μικροοργανισμούς που βρίσκονται στον πεπτικό σωλήνα και στη συνέχεια τα μεταφέρουν στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους ενσωματώνοντας τα στο έδαφος. Επίσης, τα ζώα χαλαρώνουν τη συνοχή του εδάφους, προκαλούν τη διάσπαση των μεγάλων συσσωματωμάτων και διανοίγουν στοές στο έδαφος. Το αποτέλεσμα όλων των παραπάνω διεργασιών των ζώων είναι η βελτίωση της δομής του εδάφους και ο καλός αερισμός του. Η οργανική ουσία του εδάφους μαζί με τους μικροοργανισμούς του παίζουν σπουδαίο ρόλο στην αύξηση των φυτών, διότι συντελούν αποτελεσματικά στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους. Τα διαφορά υπολείμματα φυτικής και ζωικής προέλευσης αποτελούν την πηγή της οργανικής ουσίας του εδάφους. Τα υπολείμματα αυτά (ρίζες, βλαστοί, φύλλα, καρποί, περιπτώματα ζώων και οργανισμοί μετά το θάνατο τους) παραμένουν αρχικά στο έδαφος, στη συνέχεια αποσυνθέτονται με την πάροδο του χρόνου και σχηματίζεται υλικό που έχει βαθύ φαιό (γκρίζο) χρώμα (Μήτσιος 2001).

Ο χούμος συνήθως είναι το μέρος της οργανικής ουσίας του εδάφους που είναι εντελώς άμορφο υλικό και δεν έχει κυτταρική δομή, που να είναι χαρακτηριστική του φυτού, μικροοργανισμού ή ζώου από τα οποία έχει προέλθει. Η χημική σύσταση του χούμου ποικίλλει ποιοτικά και ποσοτικά, και εξαρτάται από το είδος των υπολειμμάτων (φυτών, ζώων, κ.λ.π) από τα οποία προέρχεται, από τις κλιματικές και εδαφικές συνθήκες, από τους οργανισμούς και τα ένζυμα, που παίρνουν μέρος στο σχηματισμό του χούμου. Όλα τα παραπάνω υπολείμματα (φυτικά, ζωικά) που βρίσκονται στο στάδιο της αποσύνθεσης, αποτελούν το θρεπτικό χούμο ο οποίος είναι πηγή θρεπτικών ουσιών και θερμότητας για τα καλλιεργούμενα φυτά (Μήτσιος 2001).

Τα τελικά προϊόντα της αποσύνθεσης αποτελούν το σταθερό χούμο που σιγά-σιγά ελευθερώνει ανόργανα θρεπτικά στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών. Ο ρόλος του σταθερού χούμου στο έδαφος είναι κυρίως συγκολλητικός, όπως της αργίλου, και μάλιστα σε μεγαλύτερο βαθμό, συντελεί δηλαδή στη διαμόρφωση της δομής του εδάφους και επομένως επηρεάζει όλες τις

ιδιότητες του, που έχουν σχέση με τη δομή. Ο χούμος βρίσκεται στο έδαφος ενωμένος με την άργιλο και άλλα ανόργανα συστατικά και σχηματίζει το αργιλο-χουμικό σύμπλοκο, από το οποίο εξαρτάται κατά κύριο λόγο η απορροφητική δύναμη του εδάφους, η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων και- άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους (Μήτσιος 2001).

## **1.6 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών**

### **1.6.1 Ορισμοί**

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems) είναι μια σύγχρονη τεχνολογία, που αναπτύσσεται ραγδαία και εμφανίζει τη δυσκολία προσέγγισης ενός και μόνου αυστηρού και ολοκληρωμένου ορισμού της, που να περιέχει όλα τα στοιχεία που την προσδιορίζουν. Κατά καιρούς, δόθηκαν αρκετοί και διάφοροι ορισμοί για τα ΓΣΠ, ορισμοί που διαμορφώθηκαν, ανάλογα με τις εμπειρίες, τις εφαρμογές και τις ανάγκες αυτών που χρησιμοποιούσαν τα συστήματα αυτά. Έτσι λοιπόν, μέχρι σήμερα μεταξύ άλλων έχει καταγραφεί ότι ένα ΓΣΠ:

- είναι μια ειδική περίπτωση πληροφοριακών συστημάτων, όπου η βάση δεδομένων αναφέρεται σε παρατηρήσεις από χωρικά χαρακτηριστικά, δραστηριότητες και γεγονότα. (Dueker, 1979)

- είναι μια οργανωμένη συλλογή περιφερειακών, λογισμικού, γεωγραφικών δεδομένων και προσωπικού, σχεδιασμένη έτσι ώστε να συλλαμβάνει, να αποθηκεύει, να ενημερώνει, να διαχειρίζεται, να αναλύει και να αποδίδει σωστά όλους τους τύπους αναφοράς των γεωγραφικών πληροφοριών (Dangermond, 1982)

- είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και οικονομικής υφής και ένα όργανο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη, που αποτελείται από μία βάση δεδομένων - που περιέχει για συγκεκριμένη περιοχή, στοιχεία προσδιορισμένα στο χώρο και που σχετίζονται με τη γη - καθώς και από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων (Federation Internationale des Geometres, 1983 και Μανιάτης 1993)

- είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφοριών που σχετίζονται με ζητήματα γεωγραφικής φύσης (Goodchild, 1985)



- είναι ένα δυναμικό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, επανάκτηση μετασχηματισμό και απόδοση, χωρικών δεδομένων του περιβάλλοντος χώρου για την ικανοποίηση ενός συνόλου εξειδικευμένων απαιτήσεων. (Burroughs, 1986)

- είναι μια τεχνολογία πληροφόρησης η οποία αποθηκεύει αναλύει και αποδίδει τόσο χωρικά όσο και μη χωρικά δεδομένα και η οποία δεν περιορίζεται απαραίτητα μόνο στα πλαίσια ενός πολύ καλού συστήματος λογισμικού. (Parker 1988)

- είναι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που λαμβάνει υπόψη του δεδομένα με χωρική αναφορά στην προσπάθεια να επιλύσει προβλήματα που συσχετίζονται με το περιβάλλον (Cowen, 1988)

- είναι μια τεχνολογία που παρέχει στη γεωγραφική ανάλυση ότι παρέχουν σε άλλες επιστημονικούς χώρους, το μικροσκόπιο, το τηλεσκόπιο και οι υπολογιστές (Abler 1988)

- είναι ένα σύνολο διαδικασιών, που βασίζονται στον ανθρώπινο παράγοντα και στους υπολογιστές, και χρησιμοποιούνται στην αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων με γεωγραφική αναφορά (Aronoff, 1989)

- είναι ένα υψηλής τεχνολογίας ισοδύναμο του σύγχρονου χάρτη, που περιέχει πλήθος πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από χρήστες με διαφορετικές ανάγκες (University of Edinburgh, 1998)

Μια συνοπτική και περιεκτική απόδοση των παραπάνω, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ, Geographic Information System ή GIS): είναι ένα καλά οργανωμένο σύστημα, αποτελούμενο από πολύ καλά και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, καθώς και από ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή μαζί με το ειδικό λογισμικό πρόγραμμα, σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εισάγει, αποθηκεύει, ενημερώνει, διαχειρίζεται, αναλύει και εμφανίζει όλες τις μορφές των γεωγραφικά σχετιζομένων πληροφοριών. Ουσιαστικά δηλαδή το GIS είναι μια πολύ δυναμική (ζωντανή) Γεωγραφική Βάση Δεδομένων (Φλωράς 2004).

### **1.6.2 Ιστορική αναδρομή**

Αν και ο όρος Γ.Σ.Π. είναι σχετικά νέος, η χρήση των χωρικών πληροφοριών για τη λήψη αποφάσεων έλαβε χώρα από τότε που σχεδιάστηκε ο πρώτος χάρτης.

Το πρώτο ΓΣΠ αναπτύχθηκε στο Καναδά τη δεκαετία του '60. Σύμφωνα με τα δεδομένα της εποχής εκείνης, το ενδιαφέρον εστιαζόταν στην υπερνίκηση των τεχνικών προβλημάτων που προέκυπταν στην προσπάθεια εισαγωγής στο σύστημα, αναλογικών χαρτών και άλλων γεωγραφικών δεδομένων. Ήταν η εποχή που η τεχνολογία της πληροφορικής βρισκόταν στα πρώτα της βήματα και η υπολογιστική ισχύ των κεντρικών μονάδων και των περιφερειακών γραφικών συσκευών, ήταν πολύ μικρή και παρουσίαζε πλήθος δυσλειτουργιών. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα ενός υπολογιστή αιχμής της εποχής εκείνης (1962), του IBM 1401, που είχε 16Kb BCD μνήμη, εκτελούσε 1000 πράξεις το δευτερόλεπτο, κόστιζε 600.000 δολάρια Αμερικής και ζύγιζε περισσότερο από 3500 κιλά. Στον Καναδά, από τα χρόνια εκείνα ακόμα, είχαν συνειδητοποιήσει ότι τα φυσικά διαθέσιμα που είχε η χώρα τους δεν ήταν ανεξάντλητα. Επίσης, αρμόδιοι δημόσιοι φορείς του τόπου είχαν συστήσει στη κυβέρνηση την ανάγκη δημιουργίας χάρτη χρήσεων γης για το σύνολο της έκτασης της χώρας, έτσι ώστε να είναι σε θέση το κράτος να συμμετέχει στην παρακολούθηση των αλλαγών που γινόταν στις χρήσεις γης του τόπου. Το Υπουργείο Γεωργίας του Καναδά, είχε απαντήσει στην κυβέρνηση, ότι για να κατασκευάσει χάρτες χρήσεων γης για το 30 % περίπου της συνολικής έκτασης της χώρας (αγροτικές και δασικές εμπορικού ενδιαφέροντος εκτάσεις), λόγω του τεράστιου όγκου χαρτών που έπρεπε να δημιουργηθούν (3000 χάρτες κλίμακας 1:50000 και 200 χάρτες 1:250000 για κάθε θέμα ξεχωριστά), θα χρειαζόταν 3 χρόνια τουλάχιστον και την πρόσληψη 500 ειδικευμένων επιστημόνων.

Τότε ήταν που ο Tomlinson, ένα στέλεχος ιδιωτικής εταιρείας αεροφωτογραφήσεων, συνέλαβε την ιδέα χρησιμοποίησης της νέας τεχνολογίας (ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων) στην κατασκευή των χαρτών. Το 1962 η κυβέρνηση του Καναδά υιοθέτησε την ιδέα αυτή, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί το CGIS (Canada GIS), που είχε πλήρη ανάπτυξη στα τέλη της δεκαετίας του 60. Ήταν το πρώτο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών στον κόσμο, αφού για πρώτη φορά σε επιχειρησιακή βάση, συνδυαζόταν τα χωρικά δεδομένα με περιγραφικά δεδομένα. Το σύστημα αυτό, για την αντιμετώπιση πολλών προβλημάτων του χρησιμοποίησε κατά καιρούς λογισμικό που είχε αναπτυχθεί κατά κύριο λόγο σε πανεπιστήμια των ΗΠΑ, όπως το SYMAP και το GRID από το πανεπιστήμιο του Harvard, το GEOMAP από το πανεπιστήμιο του Waterloo, το MANS από το πανεπιστήμιο του Maryland, το MIADS από τη Δασική Υπηρεσία των ΗΠΑ, και άλλα πολλά.

Το 1968 ιδρύονται οι εταιρείες ESRI (Environmental Systems Research Institute) και Intergraph, που μέχρι σήμερα πρωταγωνιστούν στο χώρο. Επίσης το 1968, η Διεθνής Ένωση Γεωγράφων (IGU), συνιστά την επιτροπή ανίχνευσης και επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων, με σκοπό τη εξάπλωση της γνώσης στο αντικείμενο αυτό, επιτροπή που διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στη δεκαετία του 70.

Στην περίοδο αυτή η ανάπτυξη της πληροφορικής ήταν πολύ σημαντική και έδωσε στους χρήστες της για πρώτη φορά, τη δυνατότητα της δυναμικής αλληλοεπικοινωνίας, δηλαδή ο χρήστης μέσω οθόνης γραφικών μπορούσε να δει τα αποτελέσματα της εκτέλεσης εντολών και να παρέμβει κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Τη δεκαετία του 70 επίσης το κόστος των υπολογιστών μειώνεται σημαντικά, έτσι δημιουργούνται περισσότερες εγκαταστάσεις και περισσότεροι χρήστες. Ενώ αρχικά οι χρήστες ήταν μεγάλοι δημόσιοι οργανισμοί και πανεπιστήμια, μέσα στη δεκαετία αυτή, μεσαίες ιδιωτικές εταιρείες, τμήματα δημοσίων οργανισμών και πανεπιστημίων ή ακόμα και γραφεία και εργαστήρια προμηθεύονται υπολογιστικά συστήματα και ασχολούνται με θέματα ΓΣΠ.

Το 1970 διοργανώνεται το πρώτο συνέδριο GIS, από την IGU, στην Οτάβα του Καναδά, με την αιγίδα της UNESCO. Στο συνέδριο αυτό παρουσιάστηκαν όλα τα γνωστά συστήματα GIS της εποχής, και υπήρχαν 40 συμμετέχοντες. Το δεύτερο αντίστοιχο συνέδριο γίνεται το 1972 όπου οι συμμετέχοντες φτάνουν τους 300, ενώ την ίδια χρονιά η IGU διανέμει τα πρώτα κείμενα με θέματα ΓΣΠ (Geographical Data Handling). Στις αρχές αυτής της δεκαετίας, στην Αυστραλία, αναπτύσσεται το TOPAZ (Technique for the Optimum Placement of Activities in Zones), ένας πρόδρομος ΓΣΠ για περιφερειακό και αστικό σχεδιασμό. Το 1976 εκδίδεται από την UNESCO, με φροντίδα της IGU, το "Computer Handling of Geographical Data", που είναι μια σε βάθος μελέτη 5 μεγάλων συστημάτων GIS, όπου περιγράφονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε συστήματος, ενώ γίνεται λόγος και για γενικότερα προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη έμπειρου προσωπικού, την εκπαίδευση του, τον ανταγωνισμό των φορέων κ.ά.

Είναι η εποχή που πανεπιστήμια όπως αυτά του Edinburgh, Vancouver, Durham, Zurich, London, Washington, Harvard και άλλα, παρέχουν εκπαίδευση σε θέματα ΓΣΠ. Στο τέλος της δεκαετίας του 70, υπάρχουν πολλές διαφορετικές βάσεις δεδομένων μικρές σε όγκο πληροφορίας, σε διαφορετικές μορφές που για να αναπτυχθούν χρειάζονται διαφορετικές υπολογιστικές εγκαταστάσεις (διαφορετικές πλατφόρμες), κάτι που χαρακτηρίζεται ως ψηφιακό χάος (Tomlinson, 1984), γεγονός

που επιβεβαιώνεται και από το ότι εκείνη την εποχή, κυκλοφορούν περισσότερα από 600 διαφορετικά προγράμματα από τα οποία 80 από αυτά είναι πλήρη (για την εποχή) GIS συστήματα.

Στη δεκαετία του 80 η συνεχόμενη σε παγκόσμιο επίπεδο πίεση για την προστασία του περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της πληροφορικής, δίνουν νέα ώθηση στη τεχνολογία των ΓΣΠ. Άλλες χώρες, κυρίως βιομηχανικές όπως είναι η Μεγάλη Βρετανία, η Γερμανία, η Γαλλία, η Νορβηγία, η Σουηδία, η Ολλανδία, το Ισραήλ, η Αυστραλία και η ΕΣΣΔ ενεργοποιούνται στην ανάπτυξη και στη χρήση ΓΣΠ. Μια μεγάλη μελέτη με τίτλο “Remote Sensing and Digital Mapping”, που έγινε στη Μ.Βρετανία το 1983 για λογαριασμό της κυβέρνησης, κατέδειξε αδιαφιλονίκητα την ανάγκη δημιουργίας και υποστήριξης τεχνικών ψηφιακής χαρτογράφησης, η οποία θα άνοιγε νέους ορίζοντες στη διαχείριση χωρικών δεδομένων προσδιορισμένων με κάποια ακρίβεια στο χώρο.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, το ερευνητικό ενδιαφέρον, ενώ στις προηγούμενες δεκαετίες εστιαζόταν στα κατασκευαστικά έργα υποδομής (δρόμοι, δίκτυα κοινής ωφέλειας, σχολεία, κλπ.), σε αυτή τη δεκαετία εστιάζεται στη περιφερειακή ανάπτυξη και σχεδιασμό, με αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης σε πληροφορίες που σχετίζονται με το περιβάλλον, και την κατάδειξη των ΓΣΠ ως εργαλείου απαραίτητου στην ορθολογικότερη λήψη αποφάσεων και την παρακολούθηση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.

Από πλευράς υπολογιστικών συστημάτων, οι επιδόσεις αυξάνονται και το κόστος μειώνεται. Έτσι στις αρχές της δεκαετίας ο VAX 780 κόστιζε λιγότερο από 250000\$, εκτελούσε 1 εκατομμύριο πράξεις το δευτερόλεπτο, και είχε μνήμη 2 - 4 Mb, ενώ ο PRIME 9950, διαφορετικής μέχρι τότε τεχνολογίας που εμφανίστηκε το 1984, εκτελούσε 4 εκατομμύρια πράξεις, και είχε μνήμη 4 - 6 Mb. Το 1984 η IBM παρουσίασε το πρώτο 32 bit chip, βασιζόμενο στη τεχνολογία των μικροϋπολογιστών, που έφερε επανάσταση στο χώρο της πληροφορικής. Στο τέλος της δεκαετίας εμφανίστηκε ο επεξεργαστής 386 της Intel.

Η αλματώδης αυτή ανάπτυξη έδωσε στα ΓΣΠ τη δυνατότητα δημιουργίας σύγχρονου περιβάλλοντος εργασίας, πολυπλοκότερων επεξεργασιών των δεδομένων, μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης αλλά και γρηγορότερη επανάκτηση αυτών. Αν η δεκαετία του 70 ήταν η περίοδος συλλογής δεδομένων από το πεδίο, η δεκαετία του 80 χαρακτηρίστηκε από τη σπουδαία τεχνολογική υπέρβαση εμποδίων στη ταχύτητα, ευκολία και ευκαμψία διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων.

Στη δεκαετία που διανύουμε τα ΓΣΠ λόγω της μεγάλης εξέλιξης των υπολογιστών αλλά και της εξάπλωσης της πληροφορικής, γνωρίζουν την μεγαλύτερη μέχρι σήμερα ανάπτυξή τους. Σήμερα σχεδόν κανένα μεγάλο έργο που έχει σχέση με το περιβάλλον δεν μπορεί να μην περιλαμβάνει διαδικασίες ΓΣΠ.

### **1.6.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα**

Η πρώτη εγκατάσταση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών στη χώρα μας, ανήκει στο Υπουργείο Εθνικής Άμυνας (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού ΓΥΣ, και αργότερα ακολούθησε και η Υδρογραφική Υπηρεσία Στρατού) και χρονολογείται από το 1985. Κατόπιν ακολούθησαν τα πανεπιστήμια (ΕΜΠ, ΑΠΘ, Πανεπιστήμιο Πατρών) καθώς και άλλες Δημόσιες Υπηρεσίες και ΟΤΑ, όπως το ΥΠΕΧΩΔΕ (Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογράφησης της Ελλάδας), το ΙΓΜΕ, και οι Δήμοι Καλαμάτας, Νίκαιας, Καλαμαριάς, Βόλου, Άνω Λιοσίων, Ρόδου κ.ά.

Το 1987 στη Καλαμάτα μετά από τους σεισμούς, η τοπική αυτοδιοίκηση εγκαθιστά ΓΣΠ, ως εργαλείο ανάπτυξης και παρακολούθησης της ανασυγκρότησης. Στη Βόρειο Ελλάδα η πρώτη εγκατάσταση λογισμικού ΓΣΠ, έγινε το 1988, στο τότε Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας και μετέπειτα Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ του Τμήματος της Γεωπονίας, από τον Καθηγητή κ. Ν.Συλλαίο.

Το 1989 δημιουργούνται οι πρώτες ιδιωτικές εταιρίες με αντικείμενο τους την υποστήριξη σε ΓΣΠ. Το 1991 γίνεται στην Αθήνα, η πρώτη συνάντηση Ελλήνων χρηστών του ARC/INFO από τη MDS (πρόεδρος κος Άδωνις Κοντός).

Το 1990 το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. – Ι.Χ.Τ.Ε.Λ.(υπό την Δ/ση του Δρ.Σταμάτη Φλωρά) αγοράζει και αξιοποιεί το λογισμικό ARC/INFO 3.2 της ESRI.(αντιπρόσωπος η MDS)

Το 1992, για πρώτη φορά το Ελληνικό Δημόσιο, σε πρόσκληση εκδήλωσης ενδιαφέροντος για την εκπόνηση Ειδικής Χωροταξικής Μελέτης, αναφέρει την απαραίτητη συνεργασία με εξειδικευμένους στα ΓΣΠ επιστήμονες, ενώ τη χρονιά εκείνη η ΓΥΣ σε διαφημιστικά φυλλάδια αναφέρει τη διάθεση ψηφιακών δεδομένων κατάλληλης μορφής για εισαγωγή σε ΓΣΠ. Το 1993 διοργανώνεται από την MDS στην Ελλάδα το πανευρωπαϊκό συνέδριο χρηστών του ARC/INFO .

Το 1993 επίσης, ο ΟΚΧΕ αναθέτει μελέτη, όπου μεταξύ άλλων απαιτεί την παράδοση της μελέτης σε ψηφιακή μορφή, κατάλληλη για την επεξεργασία της από το ΓΣΠ του Οργανισμού. Για το σκοπό αυτό είχε συνταχθεί ειδικό τεύχος προδιαγραφών, που περιέγραφε αναλυτικά τη μορφή των παραδοτέων στοιχείων.

Το 1995 ο ΟΚΧΕ ξεκινά την υλοποίηση του Εθνικού Κτηματολογίου, του οποίου η κινητήριος δύναμη είναι η ανάπτυξη ενός ΓΣΠ. Στα πλαίσια αυτού του μεγάλου έργου, ο ΟΚΧΕ συστήνει επιτροπές που ασχολούνται με τη σύνταξη τευχών προδιαγραφών που περιγράφουν με λεπτομέρεια τη δόμηση των παραδοτέων ψηφιακών στοιχείων. Από εκεί και μετά το Ελληνικό Δημόσιο αναθέτει πλήθος μελετών όπου ζητά τη παράδοση ψηφιακών αρχείων, δομημένων σε ΓΣΠ. Παράλληλα αναθέτει σε Μελετητικά Γραφεία την δημιουργία ενιαίων ψηφιακών υποβάθρων που καλύπτουν το σύνολο της χώρας για κλίμακες 1:5000 και 1:50000. Το 1995 η Αττικό Μετρό, για τη κατασκευή του Μετρό της Αθήνας, αναθέτει συγκοινωνιακές μελέτες με υποχρέωση από πλευράς αναδόχου μελετητή τη παράδοση ψηφιακών δομημένων αρχείων.

Το 1996 ξεκινά η ανάπτυξη ΓΣΠ που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες του Οργανισμού Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης, στα πλαίσια του οποίου προβλέπεται επικουρικά με το έργο η δημιουργία ψηφιακού υποβάθρου κλίμακας 1:500 για το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Ακόμα θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια υλοποιήθηκαν και υλοποιούνται κυρίως από ΑΕΙ, πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων, τα περισσότερα χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, που προσθέτουν εμπειρία και γνώσεις στους Έλληνες ερευνητές και μελετητές .

Το έτος 2000 εισάγεται η διδασκαλία των ΓΣΠ και ειδικότερα το ΓΣΠ ARC/INFO 3.5.2. και ArcView 3.2 στο εργαστήριο εδαφολογίας του τμ.Γεωπονίας,Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας από τον Αναπληρωτή Ερευνητή του ΕΘΙΑΓΕ-ΙΧΤΕΛ Δρ. Σταμ.Αθ.Φλωρά.

Μετά λοιπόν από την υπερδεκαετή αυτή προσπάθεια ανάπτυξης και υλοποίησης ΓΣΠ στη χώρα μας, θα πρέπει να επισημανθούν τα εξής:

1. Δεν υπάρχει μέχρι σήμερα δημόσιος φορέας ευκίνητος και αποτελεσματικός, λειτουργώντας με κριτήρια ελεύθερης αγοράς, που να διαθέτει ψηφιακά δεδομένα ,
2. Στις περισσότερες περιπτώσεις η εφαρμογή της τεχνολογίας ΓΣΠ συνάντησε ανυπέρβλητα εμπόδια από τη γραφειοκρατία στην ανάπτυξη και υλοποίησή του,
3. Υπάρχει ακόμα και σήμερα έλλειψη σε εξειδικευμένο προσωπικό όλων των βαθμίδων.

4. Υπάρχει μεγάλο πρόβλημα στα πρωτογενή δεδομένα, πέρα από το καθαρά χαρτογραφικό υλικό. Δυστυχώς, σε πολλές περιπτώσεις είναι προβληματική η συγκέντρωση πρωτογενών δεδομένων είτε λόγω άγνοιας του φορέα που έχει τα δεδομένα, δηλαδή αυτός που χρειάζεται τα δεδομένα δεν γνωρίζει αν και ποιος έχει στοιχεία που θα τον ενδιέφερε, είτε λόγω της αξιοπιστίας των δεδομένων αυτών είτε λόγω πλήρους έλλειψης οργάνωσης του Δημόσιου φορέα.

5. Δεν υπάρχει σωστός προγραμματισμός, με αποτέλεσμα πολλές φορές η προσπάθεια ανάπτυξης ενός ΓΣΠ σε ένα δημόσιο φορέα, να οδηγείται στο κενό. Στις περισσότερες των περιπτώσεων αυτών, η έλλειψη μελέτης σκοπιμότητας - ωφελιμότητας, πιλοτικής εφαρμογής αλλά και η κακή επιλογή στελεχών και προσωπικού, δημιουργεί συνθήκες που δεν επιτρέπουν ή επιτρέπουν σε πολύ μικρό βαθμό την ανάπτυξη και λειτουργία αυτής της τεχνολογίας

Ο Παππάς (2000) δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα των προβλημάτων τα οποία διαχέονται σε όλο τον κορμό των δημόσιων οργανισμών, ιδίως των ΟΤΑ και τα οποία θα μπορούσαν να επιλυθούν ή να βελτιωθούν με τη χρήση ΓΣΠ.

Σήμερα όλο και περισσότεροι φορείς τόσο στον δημόσιο, όσο και στον ιδιωτικό φορέα έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν ΓΣΠ σε κάποιο τμήμα των δραστηριοτήτων τους, με αιχμή του δόρατος τις Νομαρχίες και τους Δήμους της χώρας. Εποπτευόμενοι από το Υπουργείο Γεωργίας Οργανισμοί, όπως οι Ελληνικές Γεωργικές Ασφαλίσεις (ΕΛΓΑ), το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, ο ΟΠΕΚΕΠΕ στο σύστημα ΟΣΔΕ, προχωρούν δυναμικά στη χρήση των τεχνολογικών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ.

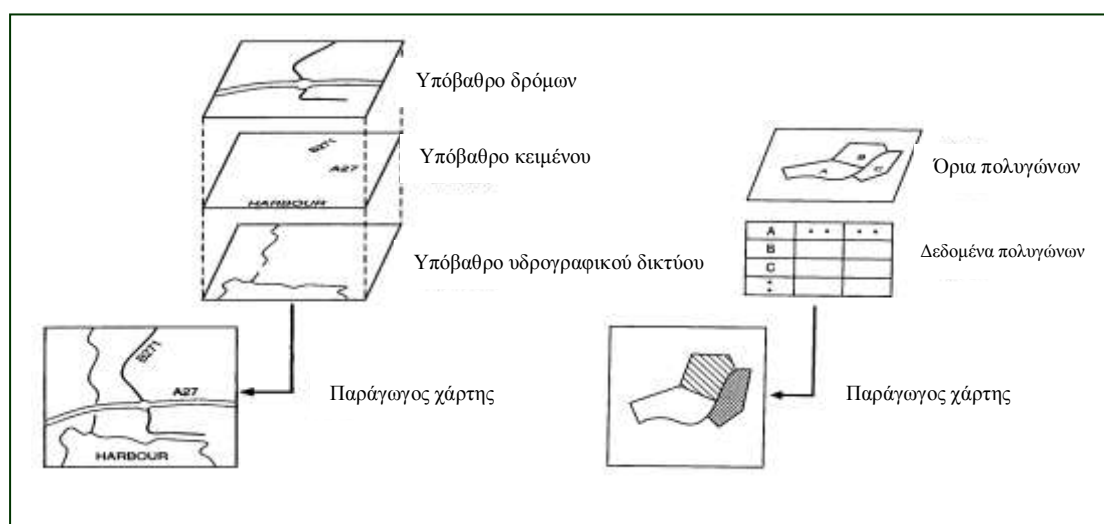
#### **1.6.4 Χαρτογραφία με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή**

Η εξέλιξη του λογισμικού υπόσχεται πάρα πολλά, κυρίως στην κατεύθυνση της Αυτοματοποιημένης Χαρτογραφίας (AM/FM) και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Ήδη στο εμπόριο κυκλοφορεί πλειάδα προγραμμάτων που αφορούν τον σχεδιασμό του χώρου και που καλύπτουν το σύνολο σχεδόν των δυνατών εφαρμογών.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των ΓΣΠ είναι και η δυνατότητα αυτοματοποίησης της χαρτογραφικής διαδικασίας. Σήμερα, έχοντας συνηθίσει τη παρουσία του υπολογιστή σε καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου, λέγοντας αυτοματοποιημένη χαρτογραφία, δεν εννοούμε απλά μόνο την παραγωγή

χαρτογραφικών προϊόντων με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών (εικόνα 2) και των περιφερειακών συσκευών, αλλά τη πολυδιάστατη διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και παραγωγή χαρτογραφικών δεδομένων.

Όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3), αυτή η αυτοματοποίηση δίνει μία νέα ώθηση στην έρευνα και στην εφαρμοσμένη πρακτική, κάτι που παλαιότερα, με τον κλασικό παραδοσιακό τρόπο χαρτογράφησης και ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων, περιορίζονταν σημαντικά.



**Εικόνα 2.** Χαρτογραφία με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή

**Πίνακας 3.** Σύγκριση αυτοματοποιημένης και παραδοσιακής χαρτογραφίας

| ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ                         | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΓΣΠ  | ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ  |
|------------------------------------|--|--|
| Είσοδος Δεδομένων                  | Είσοδος Δεδομένων με τη βοήθεια, ψηφιοποιητή, σαρωτή, πληκτρολόγιου (αναλυτικές συντεταγμένες)               | Σχεδίαση χαρτών, γράψιμο πινάκων και κειμένου                |
| Διόρθωση χαρτογραφικών δεδομένων   | Διόρθωση χαρτών μέσω ψηφιοποιητή και οθόνης γραφικών   | Διόρθωση χαρτών με επανασχεδίαση χαρακτηριστικών             |
| Επανάκτηση χαρτογραφικών δεδομένων | Επανάκτηση χάρτη από την ψηφιακή βιβλιοθήκη χαρτών   | Αναζήτηση χάρτη σε αρχεία και σχεδιοθήκες                    |
| Χαρτογραφικές διαδικασίες          | Συνένωση χαρτών και αλλαγή κλίμακας με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, Συνδυασμός δεδομένων από διαφορετικούς | Επανασύνταξη με αλλαγή της κλίμακας, φυσική επικάλυψη χαρτών |



|   |   |  |
|---|---|--|
|   | χάρτες (άλγεβρα χαρτών),  |  |
| Απλές υπολογιστικές δυνατότητες               | Αυτόματος υπολογισμός μηκών, εκτάσεων και αποστάσεων  | Μέτρηση με εμβαδόμετρο, κλιμακόμετρο   |
| Χωρική αναζήτηση                              | Χωρική αναζήτηση με βάση κωδικούς αριθμούς ή λέξεις   | Οπτική εξέταση του χάρτη και των συγγενών δεδομένων  |
| Αίσθηση ανάγλυφου                             | Δημιουργία συνθηκών τεχνητής σκίασης, χάρτης κλίσεων, εκθέσεων, προοπτικό 3 διαστάσεων                            | Μέτρηση κλίσεων με παρεμβολές στις ισουψείς του χάρτη  |
| Απόδοση χαρτογραφικών δεδομένων και αναλύσεων | Επιλεκτική εμφάνιση δεδομένων στην οθόνη, εκτύπωση στο σχεδιογράφο, αυτόματη δημιουργία γραφικών, σχεδιαγραμμάτων | Χαρτογραφική σχεδίαση και συχνά χρωματισμός με το χέρι, χειρονακτικές εργασίες και υπολογισμοί |

Μία πρώτη ταξινόμηση των κυρίαρχων τάσεων, από πλευράς προγραμμάτων (software) στη διεθνή πραγματικότητα και για το σχεδιασμό του χώρου, είναι η ακόλουθη (Γαππιάς 2000):

- ▶ **GIS:** (Geographic Information Systems) - AM/FM: Περιέχουν τοπολογικές και γενικού περιεχομένου βάσεις δεδομένων και αποτελούν τα κατ' εξοχήν συστήματα προσομοίωσης, ανάλυσης και σχεδιασμού. Σημαντική είναι η προσφορά τους και στην παραγωγή θεματικών χαρτών.
- ▶ **CAD:** (Computer Aided Design): Γραφικά συστήματα τα οποία υποστηρίζουν κυρίως το σχεδιασμό των βιομηχανικών και αρχιτεκτονικών έργων. Προσφέρουν δυνατότητες για τον υπολογισμό τεχνικών έργων και την παραγωγή των αντίστοιχων σχεδίων, που συχνά είναι και σε τρισδιάστατη μορφή.
- ▶ **GPNS:** (Global Positioning / Navigation Systems): Είναι ένα είδος real time GIS. Είναι συστήματα αυτόματης πλοήγησης και καθορισμού θέσης. Σε συνδυασμό με τα GIS, ολοκληρώνονται σε ένα αρκετά δυναμικό πληροφοριακό εργαλείο, όπου οι κύριες εφαρμογές τους φαίνεται να αφορούν όλα τα κινούμενα συστήματα (ασθενοφόρα, αστυνομία, πυροσβεστική, κλπ)
- ▶ **DP:** (Document Processing): Επεξεργασία και διαχείριση γενικών πληροφοριών τεκμηρίωσης. Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενταχθούν και οι εφαρμογές DBMS (Data Base Management Systems), δηλαδή οι πολύ γνωστές σε όλους μας εφαρμογές με τον γενικό τίτλο: Προγράμματα Διαχείρισης Βάσεων δεδομένων. Σημειώνεται ότι δεν χρησιμοποιούνται μόνο για επεξεργασία κειμένου.

► **DSS:** (Decision Support Systems): Συστήματα Λήψης Αποφάσεων. Περιλαμβάνουν εφαρμογές στατιστικής ανάλυσης, μοντέλα βελτιστοποίησης κλπ. Στην κατηγορία αυτή μπορούμε να προσθέσουμε και τις πλέον σύγχρονες εφαρμογές των συστημάτων εμπειρογνωμόνων (expert systems).

Ο παραπάνω διαχωρισμός αναφέρεται στις δυνατότητες των προγραμμάτων και στις προσφερόμενες απ' αυτά λειτουργίες. Αντίστοιχα, και ανάλογα με τις εφαρμογές που υποστηρίζουν τα παραπάνω προγράμματα, υπάρχει και η ανάλογη ταξινόμηση, όπου τα αντίστοιχα προγράμματα είναι εμπλουτισμένα, ή μπορούν να εμπλουτιστούν, με εξειδικευμένες διαδικασίες που αναφέρονται στις αντίστοιχες εφαρμογές. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν (Παππάς, 2000):

- **Οικονομική διαχείριση κτηματολογίου.** Αποτελούνται, αφ' ενός, από μεγάλες βάσεις δεδομένων που εμπεριέχουν στοιχεία χωρικά εξαρτημένα, και αφ' ετέρου, προσφέρουν τις λειτουργίες εκείνες για τη συστηματική συλλογή και ενημέρωση των περιεχομένων πληροφοριών.

- **UIS: Urban Information Systems.** GIS με προσανατολισμό στη διαχείριση και σχεδιασμό του αστικού χώρου. Κύρια για εφαρμογές που αφορούν την Τοπική Αυτοδιοίκηση (Πολοδοτικές εφαρμογές, Αναλύσεις δικτύων, κλπ).

- **HIS: Health Information Systems.** GIS με προσανατολισμό την διαχείριση και σχεδιασμό του συστήματος υγείας (Σχεδιασμός του δικτύου μεταφοράς επειγόντων περιστατικών, χωροθέτηση κέντρων υγείας, παρακολούθηση ασθενών κλπ).

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ακολουθούν το καθένα δικό του πρότυπο, ως προς την γλώσσα προγραμματισμού, την δόμηση των δεδομένων κλπ. Ορισμένα όμως πρότυπα άρχισαν ήδη να ακολουθούνται, κύρια γιά την μεταφορά δεδομένων μεταξύ συστημάτων. Τα πρότυπα αυτά κωδικοποιούν, εκτός από την γεωμετρία, την τοπολογία και τα περιγραφικά στοιχεία.

Ανάλογη με το βαθμό που ο κατασκευαστής ακολουθεί κάποιο πρότυπο είναι και η πληρότητα της πληροφορίας που θα μεταφερθεί. Υπάρχουν πρότυπα που χρησιμοποιούνται από CAD συστήματα που δεν έχουν την δυνατότητα μεταφοράς γεωγραφικής πληροφορίας παρά μόνο γραφικής. Τα πρότυπα των ΓΠΣ (λόγω κάποιας μεγαλύτερης ωριμότητας αυτών των συστημάτων) είναι αρκετά διαδεδομένα καθώς και η τυποποίησή τους (πίνακας 4).

**Πίνακας 4.** Τα χρησιμοποιούμενα πρότυπα

| Όνομα    | Προέλευση           | Σχόλια                         |
|----------|---------------------|--------------------------------|
| ARC      | ESRI                | Διανυσματικά και RASTER αρχεία |
| AVHRR    | NOAA                | Δορυφορικά δεδομένα            |
| DEM      | USGS                | Αρχεία με υψόμετρα             |
| GBF/DIME | US Bureau of Census | Διανυσματικά - Στατιστικά      |
| DIGEST   | NATO                | Raster + Vector                |
| DLG      | USGS                | Διανυσματικά αρχεία            |
| DXF      | Autodesk Inc        | Διανυσματικά CAD Αρχεία        |
| ERDAS    | ERDAS Inc           | Raster                         |
| ETAK     | ETAK Inc            | Διανυσματικά                   |
| HPGL     | Hewlett Packard     | Αρχεία για σχεδίαση            |
| IGES     | IGES Inc            | Διανυσματικά CAD αρχεία        |
| LANDSAT  | Eosat - NASA        | Δορυφορικά Δεδομένα            |
| MOSS     |                     | Διανυσματικά αρχεία            |
| SIF      | Integrgraph Inc     | Διανυσματικά αρχεία            |
| SPOT     | Spot Image          | Δορυφορικά Δεδομένα            |
| TIGER    | US Census Bureau    | Αρχεία με άξονες δρόμων        |

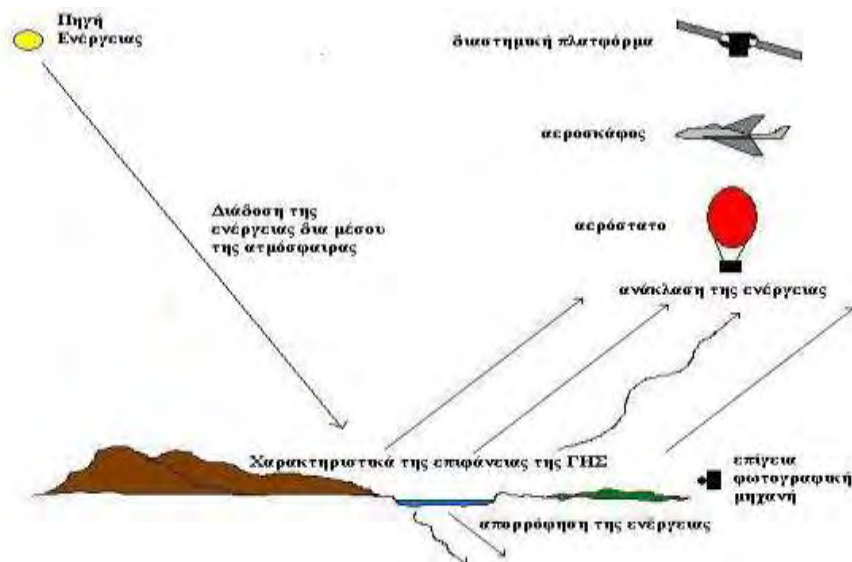
Το ARC/EXPORT πρότυπο παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιείται από την εταιρεία ESRI, λόγω της ιδιαίτερης διάδοσης του στην Ελλάδα και στον υπόλοιπο κόσμο, προσφέρεται για μεταφορά αρχείων γιατί ακολουθείται και από πολλούς άλλους κατασκευαστές και καλό είναι σε προδιαγραφές να ζητείται, χωρίς αυτό να σημαίνει και δέσμευση με τον συγκεκριμένο κατασκευαστή. Το DXF (Digital eXchange Format), λόγω της μεγάλης διάδοσης των CAD συστημάτων στην Ελλάδα, μπορεί να εξυπηρετήσει στην ανταλλαγή γεωγραφικής πληροφορίας με ορισμένες προϋποθέσεις. Π.χ. το όνομα του layer να περιέχει τον κωδικό των στοιχείων που περιλαμβάνονται σε αυτό ή οι πληροφορίες να μεταφέρονται μέσω του χρώματος. Αυτό είναι κάπως πιο περίπλοκο για πληροφορία που αναφέρεται σε πολύγωνα, γιατί στα CAD συστήματα δεν υπάρχει η οντότητα αυτή (Παππάς, 2000).

#### 1.6.5 Συσχετιζόμενες τεχνολογίες

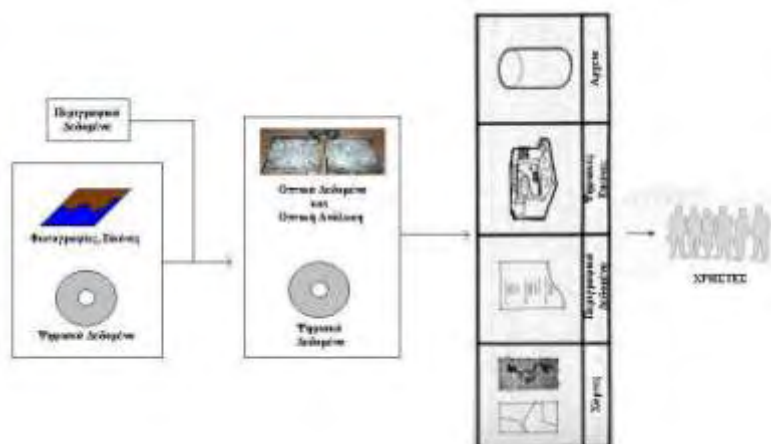
Τα ΓΣΠ αν και είναι στενά συνδεδεμένα με διάφορους άλλους τύπους πληροφοριακών συστημάτων, ξεχωρίζουν, λόγω της ιδιότητάς τους να διαχειρίζονται και αναλύουν γεωγραφικά δεδομένα. Παρόλο που δεν υπάρχει σαφής και αυστηρός διαχωρισμός στη ταξινόμηση των πληροφοριακών συστημάτων, τα ΓΣΠ ξεχωρίζουν από τις παρακάτω τεχνολογίες που είναι δυνατό να αλληλοεπηρεάζονται και αλληλουποστηρίζονται.

### 1.6.6 Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing)

Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing): είναι η μέτρηση ή η απόκτηση πληροφοριών για κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου ή φαινομένου, από μία συσκευή η οποία δεν βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο ή φαινόμενο (εικόνα 3 και 4) (Φλωράς 2004). Η τηλεπισκόπηση υποστηρίζει εξειδικευμένες δυνατότητες για τη διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και εμφάνιση των εικόνων και αεροφωτογραφιών. Επειδή όμως στερούνται τη διαχείριση απαιτητικών γεωγραφικών δεδομένων, αναλυτικών λειτουργιών και χαρτογραφικών απλοποιημένων εργαλείων, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως πλήρη ΓΣΠ.



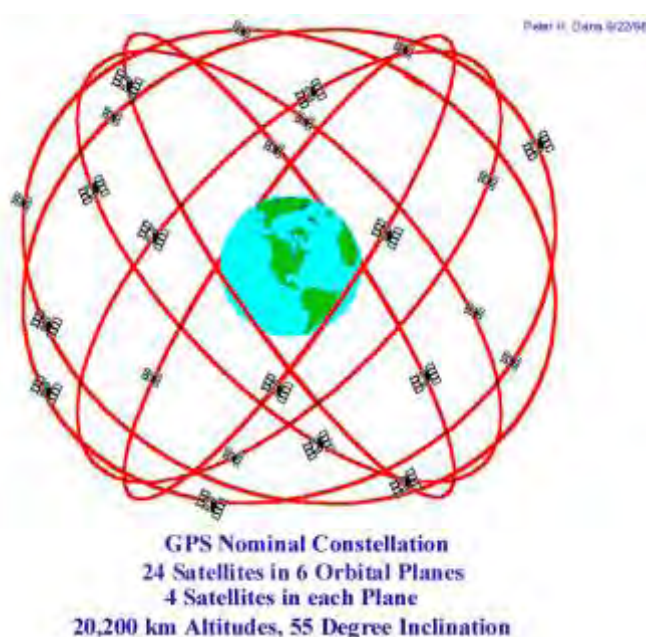
**Εικόνα 3.** Τηλεπισκόπηση η οποία χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την καταγραφή πληροφοριών (Φλωράς 2004).



**Εικόνα 4.** Δεδομένα τηλεπισκόπησης και αποτελέσματα της επεξεργασίας και ανάλυσής τους (Φλωράς 2004).

### 1.6.7 Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσεων (Global Positioning System)

Το GPS είναι ένα δορυφορικό σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού θέσεων. Το σύστημα χρηματοδοτείται και υποστηρίζεται από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ. Παρά το γεγονός ότι σήμερα υπάρχουν χιλιάδες χρήστες-πολίτες, αρχικά το σύστημα δημιουργήθηκε για χρήση από τις ένοπλες δυνάμεις των ΗΠΑ. Οι δορυφόροι GPS εκπέμπουν ειδικά κωδικοποιημένα σήματα από δορυφόρους τα οποία είναι επεξεργάσιμα από GPS δέκτες, δίδοντας την δυνατότητα υπολογισμού της θέσης, του χρόνου και της ταχύτητας (εικόνα 5).



**Εικόνα 5.** Η διάταξη των δορυφόρων που χρησιμοποιεί το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού.

### 1.6.8 Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (DataBase Management Systems)

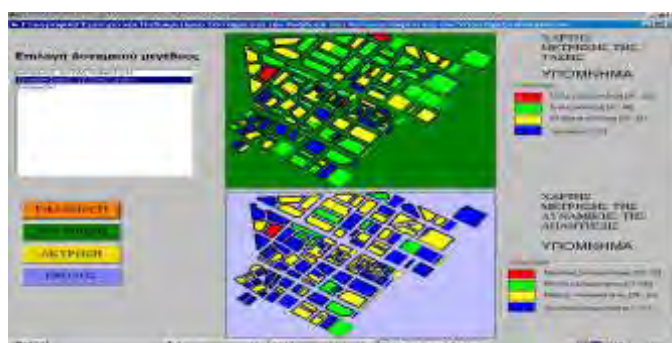
Τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων εξειδικεύονται στην αποθήκευση και διαχείριση όλων των διαφορετικών τύπων δεδομένων συμπεριλαμβανομένων και των γεωγραφικών. Τα συστήματα αυτά προσανατολισμένα στην βέλτιστη αποθήκευση και επανάκτηση δεδομένων, αποτελούν για πολλά ΓΣΠ ένα σημαντικό συστατικό μέρος τους (εικόνα 6).



**Εικόνα 6.** Εφαρμογή για on-line διαχείριση χωρικής βάσης δεδομένων (εφαρμογή εταιρίας e-spatial για το αμπελουργικό-ελαιοκομικό κτηματολόγιο και το σύστημα ΟΣΔΕ).

### 1.6.9 Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems) και Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

Τα έμπειρα συστήματα είναι συστήματα που βασίζονται στους υπολογιστές και χρησιμοποιώντας κανόνες λογικής προσομοιάζουν την ανθρώπινη ευφυΐα, ενώ τεχνητή νοημοσύνη είναι ο κλάδος που μελετά πως να καταστήσουμε τους υπολογιστές ικανούς να κάνουν πράγματα στα οποία οι άνθρωποι προς το παρόν, τα καταφέρνουν καλύτερα (Rich 1983, Μανιάτης 1993, Συλλαίος Γ., 1999). Τα έμπειρα συστήματα ουσιαστικά, αποτελούν μέρος του ευρύτερου επιστημονικού αντικειμένου της τεχνητής Νοημοσύνης (εικόνα 7). Η συνεργασία της τεχνολογίας των ΓΣΠ και της Τεχνητής Νοημοσύνης θεωρείται βέβαιο ότι θα αποτελέσει καθοριστικό ρόλο σε επαγγελματικές και ερευνητικές δραστηριότητες του μέλλοντος.



**Εικόνα 7.** Η οθόνη αλληλοεπικοινωνίας χρήστου-μηχανής σε ένα Σύστημα Υποστήριξης Λήψης Απόφασης (DSS)-από Γ. Συλλαίο (1999).



## 1.7 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.

Ως Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ορίζεται ένα σύνολο εργαλείων συλλογής, αποθήκευσης, ανάκτησης, ανάλυσης και εμφάνισης χωρικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών μπορεί να οριστεί η σύζευξη ενός γεωγραφικού αρχείου μιας περιοχής (δηλαδή του χάρτη όπως τον διαβάζει και τον επεξεργάζεται ο Η/Υ) με βάσεις πληροφοριών, ποιοτικών και ποσοτικών, για την ίδια περιοχή. Παράλληλος όρος που χρησιμοποιείται ευρύτατα είναι ο αγγλικός όρος: G.I.S. - Geographic Information Systems. Επίσης πολλοί τα αναφέρουν και σαν Συστήματα Γεωγραφικών πληροφοριών.

Πολλά ευρέως χρησιμοποιούμενα προγράμματα υπολογιστών, όπως τα spreadsheets, προγράμματα στατιστικής ανάλυσης, ή σχεδιαστικά πακέτα, μπορούν να χειριστούν απλά γεωγραφικά ή χωρικά δεδομένα. Η διαφορά των Γ.Σ.Π. από τα παραπάνω προγράμματα έγκειται στο ότι τα Γ.Σ.Π. επιτρέπουν τη χωρική αναζήτηση και επεξεργασία (map algebra) των δεδομένων.

Για την καλύτερη κατανόηση της ιδιαιτερότητας στη χρήση, και στην αναζήτηση μέσω των Γ.Σ.Π. μπορούμε να αναφέρουμε το παρακάτω παράδειγμα (από το PC Understanding GIS (The ARC/INFO Method) του Environmental Systems Research Institute, έκδοσης 1990): (πίνακας 5).

**Πίνακας 5.** Χωρικά και μη χωρικά στοιχεία

| ΟΝΟΜΑ    | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ | ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ | Γ.Σ.Π. ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ |
|----------|-------------------|------------------|------------------|
| Λονδίνο  | 51N               | 0                | 80               |
| Ζυρίχη   | 47N               | 8 <sup>E</sup>   | 25               |
| Ουτρέχτη | 52N               | 5 <sup>E</sup>   | 40               |

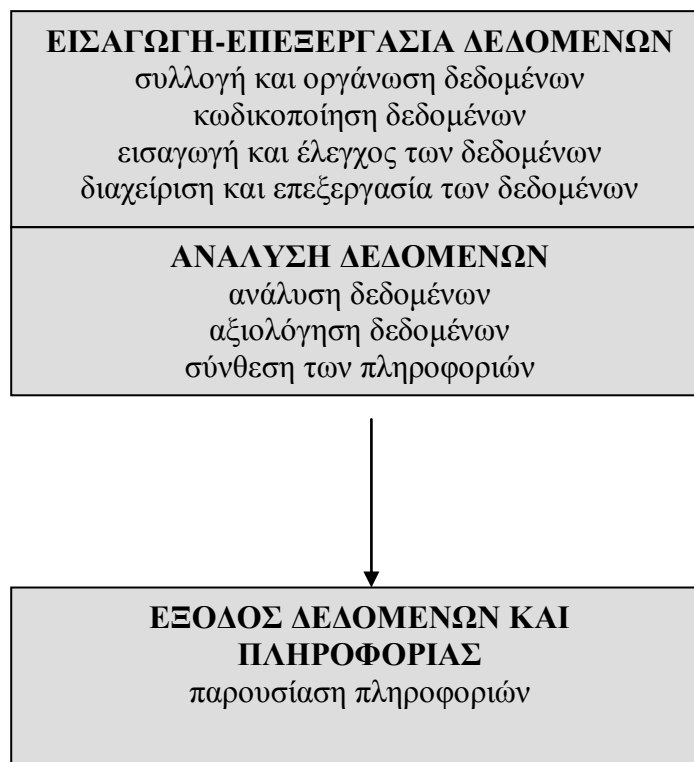
Αυτός ο πίνακας δείχνει ένα προσεγγιστικό αριθμό ανθρώπων που δούλευαν με τεχνολογία Γ.Σ.Π., σε κάποια κέντρα με αντίστοιχη δραστηριότητα, το 1989. Η ερώτηση "Ποιος είναι ο μέσος όρος των ανθρώπων που δούλευαν με Γ.Σ.Π. σε κάθε περιοχή;" είναι μια μη χωρική ερώτηση, και η απάντηση δεν απαιτεί τα μεγέθη γεωγραφικό πλάτος ή γεωγραφικό μήκος, ούτε την σχέση των περιοχών μεταξύ τους. Οι ερωτήσεις "Ποια κέντρα βρίσκονται σε ακτίνα 1000 μιλίων το ένα από το άλλο;" "Ποια είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ όλων αυτών των κέντρων;" είναι

ερωτήσεις με χωρική αναφορά που απαιτούν την χρήση γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους ή άλλης πληροφορίας σχετική με την ακτίνα της γης. Ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα απαντά σε τέτοιες ερωτήσεις.

Ένα άλλο παράδειγμα που θα μας βοηθήσει στην κατανόηση του τι είναι τα Γ.Σ.Π. είναι και το ακόλουθο: Αν φανταστούμε ένα αρχείο που περιλαμβάνει πληροφορίες για αγροτεμάχια όπως: όνομα γεωργού, έκταση, είδος καλλιέργειας, μέση παραγωγή, κλπ. τότε αναφερόμαστε σε μία συνήθη βάση δεδομένων. Αν όμως παράλληλα στο αρχείο αυτό προστεθεί και κάποια πληροφορία τέτοια ώστε να φαίνεται η θέση του αγροτεμαχίου π.χ. στην κοινότητα τότε πρόκειται για ένα Γ.Σ.Π.

Τα Γ.Σ.Π. περιέχουν τοπολογικές και γενικού περιεχομένου βάσεις δεδομένων και αποτελούν τα κατ' εξοχήν συστήματα προσομοίωσης, ανάλυσης και σχεδιασμού. Σημαντική είναι η προσφορά τους και στην παραγωγή θεματικών χαρτών.

Οι διαδικασίες και οι απαιτήσεις που καλούνται να καλύψουν τα Γ.Σ.Π. καθορίζουν και το σύνολο των προς χρήση προγραμμάτων και τον χαρακτήρα των διαχειριζόμενων στοιχείων. Οι διαδικασίες, που πρέπει να καλύπτονται από ένα ολοκληρωμένο Γ.Σ.Π., αφορούν όλες τις διαδικασίες διαχείρισης και σχεδιασμού του χώρου. Έτσι ως προς τα απαραίτητα δεδομένα, οι απαραίτητες διαδικασίες είναι:





Τα πεδία εφαρμογής των Γ.Σ.Π. είναι πολλά και δεν μπορούν επακριβώς να οριστούν στο πλαίσιο των συνεχώς αναπτυσσόμενων νέων εφαρμογών. Μια γενική ταξινόμηση των πιο γνωστών πεδίων είναι η παρακάτω:

- Ανάλυση της δομής του χώρου,
- Περιγραφή δραστηριοτήτων και χωρικών φαινομένων,
- Έρευνα και μελέτες εφαρμογών,
- Σχεδιασμός εναλλακτικών σχεδίων,
- Υποστήριξη λήψης απόφασης
- Προσομοίωση, πρόβλεψη

Τα στοιχεία που διαχειρίζεται ένα Γ.Σ.Π., και αφορούν αλλά και καθορίζουν τα μεθοδολογικά βήματα ανάπτυξής του είναι πολλών μορφών και ιδιαίτερων απαιτήσεων και μπορούν να οργανωθούν σε κατηγορίες που αφορούν στατιστικά, ποσοτικά ή και ποιοτικά στοιχεία, καθώς και χαρτογραφικά-χωρικά προσδιορισμένα στοιχεία.

#### 1.7.1 Γενικά χαρακτηριστικά και συστατικά μέρη ενός ΓΣΠ

Τα συστατικά μέρη που αποτελούν ένα γεωγραφικό σύστημα (εικόνα 8) είναι πέντε,

- το ανθρώπινο δυναμικό,
- τα δεδομένα,
- ο εξοπλισμός,
- το λογισμικό και
- οι διαδικασίες.



**Εικόνα 8.** Τα συστατικά μέρη ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

**Το ανθρώπινο δυναμικό**, ο κόσμος δηλαδή που θα ασχοληθεί με το σύστημα, αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα, αφού είναι ο συντονιστής του συστήματος και μπορεί να υποστηρίξει, στον βαθμό που του επιτρέπουν οι γνώσεις, η εμπειρία και η ικανότητα του, την ανάπτυξη, υλοποίηση και λειτουργία του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.

**Τα δεδομένα** είναι ο βασικός εκείνος παράγοντας που αποτελεί τη θεμέλια βάση της ανάπτυξης του συστήματος. Είναι όμως και μια διαδικασία χρονοβόρα, που απαιτεί εξαρχής σωστό σχεδιασμό και σημαντική επένδυση από την πλευρά του κόστους και του χρόνου. Η σχέση κόστους μεταξύ δεδομένων - λογισμικού - εξοπλισμού είναι αρκετά δυσανάλογη και συνήθως, στις μεγάλες εφαρμογές, φτάνει την αναλογία 100-10-1. Αυτή η αναλογία δείχνει τη σημαντικότητα που έχουν τα δεδομένα και μάλιστα τα ακριβή, ενήμερα, ολοκληρωμένα και σωστά καταχωρημένα δεδομένα είτε πρόκειται για χωρικά είτε για μη χωρικά δεδομένα.

**Ο εξοπλισμός** αναφέρεται σε όλες τις μονάδες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη του συστήματος, και μπορεί να περιλαμβάνει εκτός από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας, τους τερματικούς σταθμούς εργασίας, και περιφερειακές συσκευές όπως είναι ο ψηφιοποιητής (digitizer), ο σχεδιογράφος (plotter), ο σαρωτής (scanner), οι συσκευές αποθήκευσης αντιγράφων (backups media) και τα τροφοδοτικά σταθερής τάσης (ups).

**Το λογισμικό** περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα προγράμματα και εργαλεία που είναι αναγκαία για την αποθήκευση, ανάλυση και εμφάνιση των γεωγραφικών πληροφοριών. Στο λογισμικό συμπεριλαμβάνεται και ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων, που ανάλογα με το μέγεθος της εφαρμογής, μπορεί να αποτελεί ξεχωριστό περιβάλλον εργασίας (εξωτερική βάση δεδομένων, π.χ. ORACLE, SYBASE, INFORMIX, ACCESS, DBASE) ή να είναι ενσωματωμένο στο γενικευμένο λογισμικό ΓΣΠ (εσωτερική βάση δεδομένων, π.χ. TABLES, INFO). Στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6), φαίνονται οι μεγαλύτερες εταιρείες που υπάρχουν στον κόσμο, με τις περισσότερες πωλήσεις λογισμικού και παροχής υπηρεσιών σε θέματα ΓΣΠ. Ο πίνακας είναι ενδεικτικός και δείχνει τάσεις και μεγέθη και αυτό, διότι κατά καιρούς, έχουν δημοσιευθεί σε διεθνή περιοδικά, στατιστικά στοιχεία σχετικά με την αγορά GIS, τα οποία δεν συμφωνούν απόλυτα μεταξύ τους.

**Πίνακας 6.** Οι μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής λογισμικού GIS κατά αλφαβητική σειρά, σύμφωνα με την εταιρία Daratech Inc, 1994 Market Statistics (GIS World, 1995)

| Εταιρίες         | Όνομα λογισμικού          |
|------------------|---------------------------|
| Enghouse Systems | Enghouse                  |
| EPS              |                           |
| ESRI             | ARC/INFO, ARCVIEW, ArcGIS |
| GDS              |                           |
| Genasys          | Genasys                   |
| IBM              |                           |
| Intergraph       | MGE, Geographics          |
| MapInfo          | MapInfo                   |
| PCI              | PCI                       |
| SMI              | Strategic Mapping         |

### 1.7.2 Βασικές μορφές αναπαράστασης

Μια πολύ σημαντική διάκριση στα GIS είναι ο τρόπος που κάποια γεωγραφική θέση αναπαρίσταται, δηλαδή ως κυψελιδωτή (raster) ή διανυσματική μορφή (vector).

Πριν από μερικά χρόνια τα ΓΣΠ διακρίνονταν κατ' επέκταση, σε μια από τις δύο παραπάνω κατηγορίες, ανάλογα με το ποια μορφή δεδομένων σχεδιάστηκαν να επεξεργάζονται. Σήμερα όμως, σχεδόν όλα τα σύγχρονα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών παρουσιάζουν τη δυνατότητα υβριδικής κατάστασης (hybrid), δηλαδή την επεξεργασία και ανάλυση ταυτόχρονα και διανυσματικών και κυψελιδωτών δεδομένων. Ακόμα, τα τελευταία χρόνια παρουσιάστηκε μια άλλη μορφή raster, η ονομαζόμενη ως grid. Επίσης, τελευταία και με μεγάλη επιτυχία, έχει αναπτυχθεί αρκετά και η μέθοδος της διανυσματοποίησης, της μετατροπής δηλαδή δεδομένων από μορφή κυψελίδας σε μορφή διανύσματος (raster to vector conversion).

Γενικά, θα μπορούσε να λεχθεί ότι είναι δύσκολη η προτίμηση της μίας ή της άλλης κατηγορίας, γι' αυτό και λύσεις που προσφέρουν και τις δύο μορφές δεδομένων είναι οι προτιμότερες και φαίνεται να επικρατούν στο χώρο των ΓΣΠ. Μια περιληπτική σύγκριση των χαρακτηριστικών της κάθε μορφής, δίνεται σε πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 7).

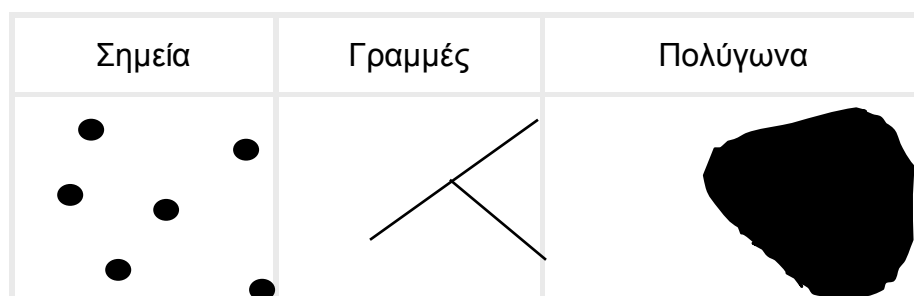
### Η Κυψελιδωτή αντίληψη του κόσμου

Ένα σύστημα το οποίο βασίζεται σε κυψελιδωτή μορφή θέσεων οπτικοποιεί, προσδιορίζει και αποθηκεύει τα γραφικά δεδομένα με τη χρήση ενός δικτύου κυψελίδων (pixel). Ένα ενιαίο σύστημα συντεταγμένων αναπαριστά κάθε κυψελίδα

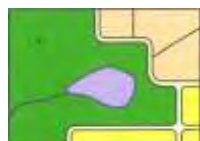
στην γωνία ενός κεντροειδούς, ενώ αντίστοιχα κάθε κυψελίδα έχει διάκριτα, προσδιορισμένα σε αυτήν, δεδομένα. Η λεπτομέρεια απεικόνισης (διακριτικότητα) των κυψελιδωτών δεδομένων εξαρτάται από το μέγεθος της κυψελίδας σε σχέση με το έδαφος και μπορεί να κυμαίνεται από μικρότερο του μέτρου έως πολλά χιλιόμετρα. Επειδή τα δεδομένα αυτά είναι συνήθως δισδιάστατα, τα GIS αποθηκεύουν διάφορες πληροφορίες, όπως τύπος δάσους, τύπος εδάφους, χρήση γης, πληθυσμούς υδροτόπων, ή άλλα στοιχεία σε διαφορετικά θεματικά υπόβαθρα. Τα θεματικά υπόβαθρα είναι λειτουργικά συσχετιζόμενα στοιχεία χαρτών. Γενικά τα **ψηφιδωτά δεδομένα** απαιτούν λιγότερο χρόνο επεξεργασίας από τα διανυσματικά δεδομένα, αλλά χρειάζονται μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης. Οι δορυφορικές εικόνες, τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DTM) ή τα Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα (DEM) είναι παραδείγματα κυψελιδωτών δεδομένων (Koeln *et al* 1994 and Huxhold 1991).

## Η Διανυσματική αντίληψη του κόσμου

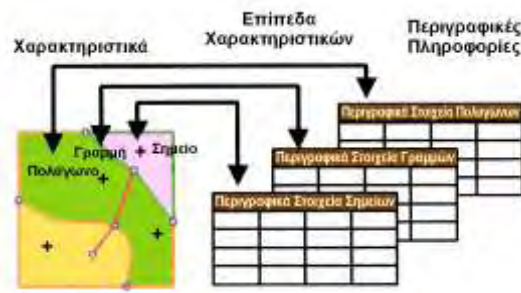
Ένα **διανυσματικό σύστημα** εμφανίζει τα γεωγραφικά δεδομένα ως σημεία, γραμμές ή πολύγωνα με ιδιότητες. Το Καρτεσιανό Σύστημα συντεταγμένων (π.χ.,  $x$  και  $y$ ) και υπολογιστικοί αλγόριθμοι των συντεταγμένων καθορίζουν σημεία σε ένα διανυσματικό σύστημα. Γραμμές ή τόξα είναι σειρά διαδοχικών σημείων. Περιοχές ή πολύγωνα είναι επίσης διαδοχικές λίστες από σημεία, με την διαφορά ότι ορίζοντας το αρχικό και το τελικό σημείο στον ίδιο κόμβο (node) το σχήμα κλείνει και ορίζεται. Τα διανυσματικά συστήματα (εικόνες 9,10,11, πίνακες 7,8) είναι ικανά για ανάλυση πολύ υψηλής διακριτικότητας (λιγότερο ή ίσο με 0 .001 inch), ενώ η γραφική έξοδος είναι όμοια με την ποιότητα των κλασικών χαρτών.



**Εικόνα 9.** Μορφές δεδομένων σε ένα διανυσματικό σύστημα



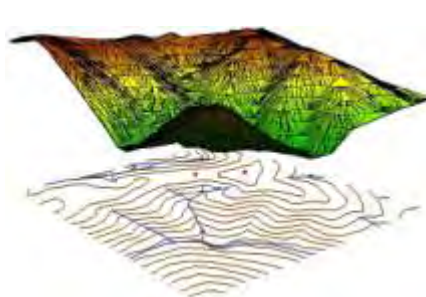
Διανυσματικά  
(Vector)



Ψηφιδωτά  
(Raster)



Τριγωνισμένων  
Δικτύων (Tin)



Εικόνα 10. Τρόποι αναπαράστασης του κόσμου

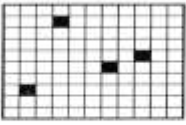

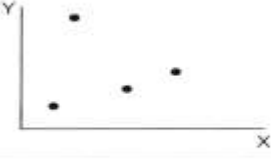
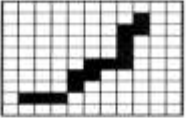

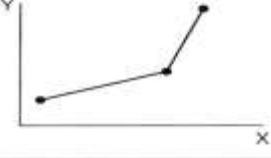
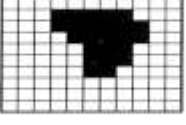
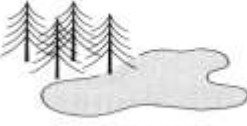
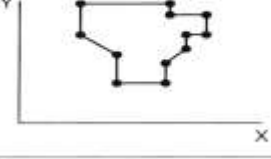
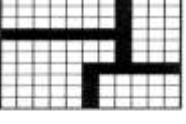

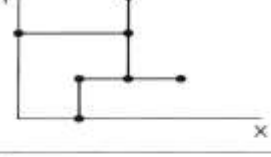


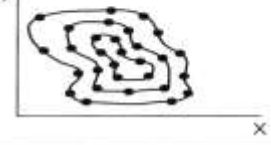
Πίνακας 7. Σύγκριση χαρακτηριστικών μεταξύ διανυσματικών, κυψελιδωτών δεδομένων και τριγωνισμένων δικτύων

|                       | ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΑ<br>ΔΕΔΟΜΕΝΑ<br>(VECTOR)  | ΨΗΦΙΔΩΤΑ<br>ΔΕΔΟΜΕΝΑ<br>(RASTER)   | ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΕΝΩΝ<br>ΔΙΚΤΥΩΝ<br>(TIN)   |
|-----------------------|---|--|---|
| Χαρακτηριστικά        |  |       |  |
| ΔΟΜΗ<br>ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ     | Απλά σημεία,<br>γραμμές,<br>πολύγωνα με<br>δυνατότητα<br>δόμησης<br>τοπολογίας      | Χρησιμοποιούνται<br>σειρές και στήλες από<br>κυψελίδες κανάβου που<br>έχουν ίδιο μέγεθος | Τριγωνισμένο<br>ακανόνιστο δίκτυο<br>από κομβικά σημεία                               |
| ΑΡΧΗ<br>ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ | οποιοδήποτε<br>καρτεσιανό<br>σύστημα<br>αναφοράς<br>συν/νων                         | Συνήθως<br>Κάτω αριστερά<br>Ή<br>Άνω αριστερά  | οποιοδήποτε<br>καρτεσιανό σύστημα<br>αναφοράς συν/νων                                 |

|                                     |  |   |  |
|-------------------------------------|--|---|--|
| ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ                       | Αποθηκεύει πραγματικές x,y συν/νες για όλα τα χαρακτηριστικά   | Αποθηκεύει τις πραγματικές συν/νες της αρχής και υπολογίζει τις υπολοίπες   | Αποθηκεύει x,y συν/νες για κάθε κομβικό σημείο του δικτύου   |
| ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ                   | Εξαρτάται από την κλίμακα της αρχικής πηγής των δεδομένων, και από τον μετασχηματισμό  | Εξαρτάται από το μέγεθος των κυψελίδων  | Εξαρτάται από την πυκνότητα των κόμβων   |
| ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ        | Σημεία για την αναπαράσταση των μικρότερων χαρακτηριστικών, γραμμές για χαρακτηριστικά διαμήκη με μικρό πλάτος, πολύγωνα για επιφάνειες στο χώρο | Σημειακά χαρακτηριστικά με μία κυψελίδα, γραμμικά με συνεχόμενες κυψελίδες ίδιας τιμής, πολυγωνικά με ομάδες κυψελίδων με ίδιες τιμές | Η τιμή κατά τον z άξονα προσδιορίζει την μορφή των επιφανειών που αναπαρίστανται. Οι γραμμές καθορίζουν τις επιφανειακές αλλαγές |
| ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ       | Κάθε χαρακτηριστικό, έχει ένα μοναδικό κωδικό αναγνώρισης, που το συνδέει με τα περιγραφικά χαρακτηριστικά                                       | Κάθε κυψελίδαί έχει μία τιμή που συνδέεται με τη θέση της σειράς και της στήλης του στο κάναβο  | Κάθε κομβικό σημείο έχει μία τιμή η οποία συνδέεται με την θέση του κατά τον άξονα z   |
| ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ                 | Κάθε χαρακτηριστικό συσχε-τίζεται με τα γειτονικά του και με τα σημεία τομής τους  | Κάθε κυψελίδα σχετίζεται με τις γειτονικές κυψελίδες βάσει του αριθμού γρ./στήλης.  | Κάθε τρίγωνο του ακανόνιστου δικτύου συσχετίζεται με τα γειτονικά του  |
| ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ | Γενικά μικρές απαιτήσεις σε χώρο και Hardware  | Γενικά αυξημένες απαιτήσεις, οι οποίες αυξάνονται αντίστροφα με το μέγεθος της κυψελίδας ανάλυσης                                     | Μικρές απαιτήσεις αποθήκευσης, αυξημένες απαιτήσεις σε Hardware  |
| ΕΠΙΘΕΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ          | Εφαρμόζονται πιο πολύπλοκα, απαιτείται μεγαλύτερη ανάλυση των δεδομένων  | Εφαρμόζονται εύκολα, πολύ αποτελεσματικά, οι τιμές των κυψελίδων προσθέτονται με λογικές πράξεις                                      | Εφαρμόζονται αποτελεσματικά, καθώς είναι ιδανικά για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις  |
| ΕΙΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ                      | Τοπολογική εναπόθεση, δημιουργία ζωνών και ανάλυση εγγύτητας, χωρικές και λογικές αναζητήσεις, γεω-κωδικοποίηση διευθύνσεων, ανάλυση δικτύων     | Χωρική ανάλυση, ανάλυση επιφανείας, δημιουργία ζωνών και ανάλυση εγγύτητας, εναπόθεση, map algebra                                    | Ογκομετρικοί υπολογισμοί και σχέσεις για ύψη, κλίσεις και προσανατολισμούς, τρισδιάσταση ανάλυση                                 |



|                           |   |   |   |
|---------------------------|---|---|---|
| ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΕΣ<br>ΧΡΗΣΕΙΣ | Καταλληλότερα για την ακριβή περιγραφή μορφής και θέσης των χαρακτηριστικών με διακριτά όρια. Ακατάλληλα για συνεχή φαινόμενα ή χαρακτηριστικά με ασαφή όρια. | Κατάλληλα για την περιγραφή συνεχών φαινομένων και ανάλυση επιφανειών, κλίσεων, προσανατολισμού. Εφαρμόζονται στην περιβαλλοντική χαρτογραφία. Ακατάλληλα για περιγραφή σημείων και γραμμών | Κατάλληλα για την περιγραφή των χαρακτηριστικών σε τρεις διαστάσεις και πολύπλοκες αναπαραστάσεις επιφανειών στο χώρο |
|---------------------------|---|---|---|

Το σύστημα εργάζεται καλά με αξιμούθια, αποστάσεις και σημεία, αλλά χρειάζεται σύμπλοκες δομές δεδομένων και είναι λιγότερο συμβατό με δορυφορικές ή σαρωμένες εικόνες. Τα διανυσματικά δεδομένα απαιτούν λιγότερο αποθηκευτικό χώρο και η διατήρηση τοπολογικών σχέσεων είναι πιο εύκολη. Digital line graphs (DLG) και TIGER αρχεία είναι παραδείγματα διανυσματικών δεδομένων (Koeln et al 1994 και Huxhold, 1991). Μια άλλη περίπτωση αποτελούν τα επιφανειακά πρότυπα (πίνακας 8), τα οποία θα αναλύσουμε λεπτομερέστερα σε άλλο κεφάλαιο.

| Η κινησιωτική μορφή του κόσμου  | Γεωγραφικά στοιχεία   | Η διανυσματική μορφή του κόσμου  |
|---|---|--|
|  | <br>Σημεία: Ξενοδοχεία   |  |
|  | <br>Γραμμές:             |  |
|  | <br>Πολύγωνα: Δάσος      |  |
|  | <br>Λίγνια: Λόφοι        |  |
|  | <br>Επιφάνειες: Υψόμετρα |  |

**Εικόνα 11.** Παραδείγματα αναπαράστασης του πραγματικού κόσμου

**Πίνακας 8.** Μορφή Επιφανειακών Προτύπων

|   | <b>Επιφανειακή απεικόνιση</b>   |  |
|---|---|--|
|   | Raster  | Tin  |
| <b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ<br/>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ<br/>ΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ</b> |    |    |
| <b>ΑΚΡΙΒΕΙΑ<br/>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ<br/>ΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ</b>       | Η ακρίβεια των επιφανειακών μοντέλων καθορίζεται από τις διαστάσεις του κελιού ανάλυσης. Μικρότερες διαστάσεις κυψελίδας > μεγαλύτερη ακρίβεια ανάλυσης | Η ακρίβεια των επιφανειακών μοντέλων μεταβάλλεται με το βαθμό αλλαγής της κλίσεως. Περισσότερα κομβικά σημεία > μεγαλύτερη ακρίβεια ανάλυσης |
| <b>ΠΙΣΤΟΤΗΤΑ<br/>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ<br/>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ</b> | Ακριβέστερη αναπαράσταση κορυφών και τοπικών ανυψώσεων των τιμών των κυψελίδων  | Ακριβέστερη αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων αναγλύφου  |
| <b>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ<br/>ΑΝΑΛΥΣΗ</b>                        | Χωρική ανάλυση  | Υψομετρικοί και ογκομετρικοί υπολογισμοί, κλίσεις, προσανατολισμοί   |
| <b>ΤΥΠΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>                              | Μικρής κλίμακας επιφανειακή μοντελοποίηση για περιβαλλοντική χαρτογραφία, όπως υδρολογία κ.α  | Ογκομετρικοί υπολογισμοί, υψηλής ποιότητας ισούψεις καμπύλες, τρισδιάστατες αναπαραστάσεις χώρου, κτιρίων κ.α                                |

### 1.8 Γεωστατιστική

Οι θεμελιώδεις φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι τόσο περίπλοκες ώστε να είναι αδύνατη η προσέγγισή τους με μαθηματικά πρότυπα, χωρίς να περιλαμβάνεται το μέγεθος του λάθους εκτίμησης στην εξαγωγή των συμπερασμάτων (Webster R., 2000). Στην περίπτωση αυτή, είναι χρήσιμο να δούμε τα δεδομένα σαν έκφραση **χωρικών μεταβλητών** (regionalized variables). Σύμφωνα με την θεωρία των χωρικών μεταβλητών τα διαθέσιμα δειγματοληπτικά δεδομένα είναι αποτέλεσμα μίας τυχαίας διεργασίας ή εκφράσεις μίας τυχαίας



συνάρτησης, εισάγοντας έτσι ένα βαθμό πιθανότητας ή αβεβαιότητας για την εκτίμηση μιας εδαφικής ιδιότητας (Journel A.G., and Ch.J.Huijbregts. 1991, Cressie N.A.C., 1993). Η στατιστική αυτή προσέγγιση για την εκτίμηση ενός φαινομένου σε σχέση με το χώρο καλείται συχνά **γεωστατιστική**. Η γεωστατιστική γνώρισε μεγάλη εφαρμογή στην έρευνα κυρίως χάρη στον Matheron (1965, 1971), Γάλλο μηχανικό και μεταλλειολόγο. Στην εδαφολογική έρευνα εφαρμόστηκε πρώτη φορά από τους Burgess και Webster στις αρχές της δεκαετίας '80, οι οποίοι με μία σειρά δημοσιεύσεων στο περιοδικό *The Journal of Soil Science* έθεσαν τις βάσεις για την εφαρμογή γεωστατιστικών μεθόδων (Burgess T.M., Webster R., 1980 I, Burgess T.M., Webster R., 1980 II, Burgess T.M., Webster R., and McBratney A.B., 1981 ).

Εστω λοιπόν η εδαφολογική ιδιότητα  $Z$ , όπως το pH, συνεχής στο χώρο, έκφραση μίας τυχαίας συνάρτησης  $Z(x)$ . Τότε τα διαθέσιμα δειγματοληπτικά δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν σαν αποτέλεσμα της συνάρτησης αυτής, δηλαδή  $[z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)]$  στις γνωστές χωρικές θέσεις  $[x_1, x_2, \dots, x_n]$ . Ο Cressie (Cressie N.A.C., 1993), περιγράφει αναλυτικά τα μαθηματικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται από την γεωστατιστική για την μελέτη της χωρικής παραλλακτικότητας της συνάρτησης  $Z$ . Στην απλούστερη μορφή του ένα τέτοιο πρότυπο είναι το εξής:

$$Z(x) = \mu + \delta(x), \text{ εξ. (1)}$$

όπου  $\mu$  ο μέσος όρος και  $\delta(x)$  η τυχαία παραλλακτικότητα για την οποία θεωρούμε ότι η χωρική *συσχέτιση* μεταξύ  $\delta(x)$  και  $\delta(x+h)$  όπου  $h$  είναι ένα διάνυσμα, είναι υπαρκτή. Η εξ.(1) είναι γνωστή και σαν συνεχές πρότυπο χωρικής παραλλακτικότητας (Heuvelink G.B.M., Webster R., 2001).

Οι δύο προϋποθέσεις για την ισχύ του παραπάνω προτύπου είναι οι εξής:

1. Η μαθηματική προσδοκία ή απλώς η αριθμητική μέση τιμή της  $Z$  είναι σταθερή, άρα η αναμενόμενη διαφορά των τιμών της  $Z$  μεταξύ οποιονδήποτε θέσεων που απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $h$  είναι μηδενική,

$$E[z(x) - z(x+h)] = 0$$

2. Η παραλλακτικότητα των τιμών της  $Z$  εξαρτάται από το  $h$  και όχι από το  $x$ , δηλαδή από τις μεταξύ τους αποστάσεις και όχι από την θέση τους στο χώρο, δίνεται δε από την εξίσωση:

$$\text{var}[z(x) - z(x+h)] = E[\{z(x) - z(x+h)\}^2] = 2\gamma(h)$$

όπου η ποσότητα  $2\gamma(h)$  είναι γνωστή ως βαριόγραμμα (variogram). Οι δύο αυτές προϋποθέσεις αποτελούν και την παραδοχή της ενυπάρχουσας χωρικής εξάρτησης της ημι-παραλλακτικότητας (intrinsic stationarity), και τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής στο έδαφος (Burgess T.M., Webster R., 1980). Η κλασσική εκτίμηση του βαριογράμματος  $2\gamma(h)$  που πρότεινε ο Matheron (1962) είναι

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

όπου  $n(h)$  είναι ο αριθμός των ζευγών που απέχουν απόσταση  $h$ . Η απόσταση αυτή είναι γνωστή και ως χωρικό διάνυσμα (lag distance).

Η ποσότητα  $\gamma(h)$  στην γεωστατιστική καλείται ημιπαραλλακτικότητα (semi-variance), και η αντίστοιχη συνάρτηση που την συνδέει με το διάνυσμα  $h$  καλείται ημιβαριόγραμμα (semi-variogram). Μία τυπική μορφή πειραματικού ημιβαριογράμματος (προέρχεται από πείραμα – παρατήρηση), για εδαφικές ιδιότητες είναι αυτή του Σχήματος 4.

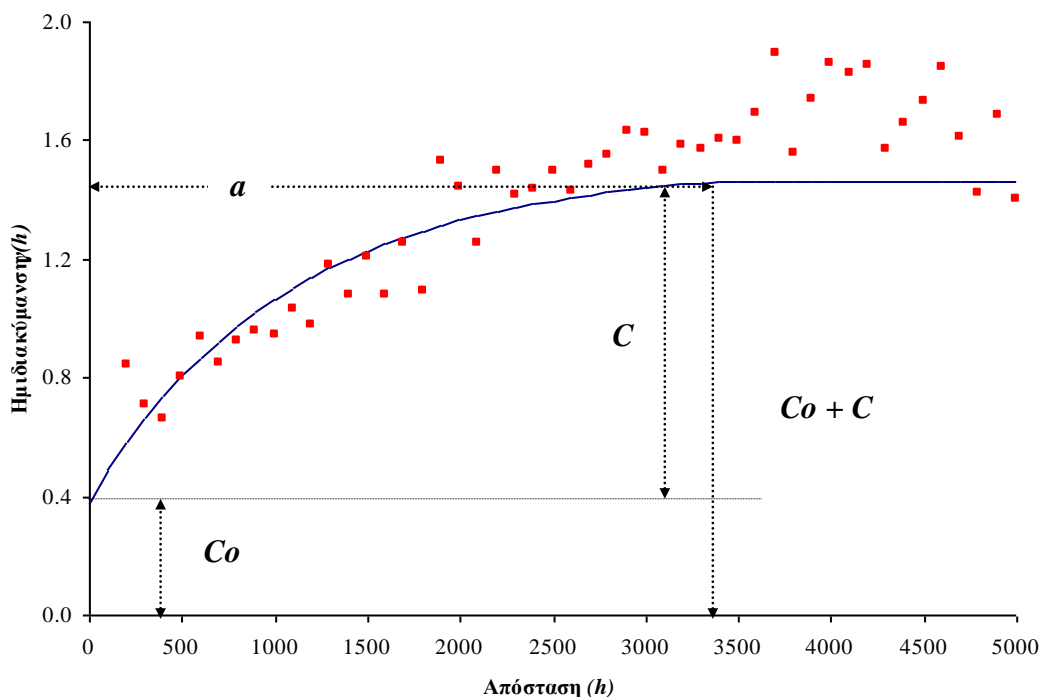
Το ημιβαριόγραμμα περιέχει όλες τις πληροφορίες για την χωρική παραλλακτικότητα της εδαφικής παραμέτρου. Πιο συγκεκριμένα μας παρέχει πληροφορίες γύρω από την *χωρική συσχέτιση* που πιθανόν να εμφανίζεται από την παραλλακτικότητα της  $Z(x)$ , δηλαδή τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών μίας τυχαίας συνάρτησης και των μεταξύ τους αποστάσεων στο χώρο. Εφόσον μία τέτοια συσχέτιση υφίσταται, είναι δυνατή η εφαρμογή μαθηματικών προτύπων στο πειραματικό ημιβαριόγραμμα με μία συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, με αποτέλεσμα ένα πρότυπο που να προσεγγίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την χωρική παραλλακτικότητα έτσι όπως αυτή αποτυπώνεται στο πειραματικό ημιβαριόγραμμα. Θεωρητικά το ημιβαριόγραμμα συνδέεται με μία συνάρτηση αυτοσυσχέτισης  $\rho(h)$ , με μία γενική σχέση της παρακάτω μορφής (Burgess T.M., Webster R., 1980):

$$\gamma(h) = s^2[1 - \rho(h)]$$

όπου  $s^2$  η παραλλακτικότητα του πληθυσμού των δειγμάτων. Γράφοντας την πιο πάνω σχέση ως

$$\rho(h) = 1 - \frac{\gamma(h)}{s^2}$$

φαίνεται ότι η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης εξαρτάται από την παραλλακτικότητα η οποία πρέπει να είναι πεπερασμένη ώστε να έχει ισχύ η παραπάνω εξίσωση. Η ημιπαραλλακτικότητα είναι απαλλαγμένη από τον περιορισμό αυτό και για τον λόγο αυτό προτιμάται (McBratney A.B., Webster R., 1986).



Σχήμα 2. Τυπικό πειραματικό ημιβαριόγραμμα ή γράφημα ημιπαραλλακτικότητας

Το πειραματικό ημιβαριόγραμμα μας παρέχει μία ποσοτική έκφραση της παραλλακτικότητας της τυχαίας συνάρτησης που εκφράζεται από μία εδαφική παράμετρο, όπως αυτή του σχήματος 2. Οι πληροφορίες που αποκαλύπτονται από το ημιβαριόγραμμα είναι οι εξής:

Η παράμετρος nugget ( $C_0$ ) είναι η χωρική παραλλακτικότητα που οφείλεται στο συστηματικό λάθος μέτρησης και δειγματοληψίας, ή σε άλλες απροσδιόριστες πηγές. Η παράμετρος ( $C$ ) ονομάζεται structural variance και αποτελεί την χωρική δομή της παραλλακτικότητας που οφείλεται στην διαφοροποίηση της τυχαίας συνάρτησης  $Z$  στο χώρο, έτσι όπως καταγράφηκε από τις παρατηρήσεις. Το άθροισμα των ( $C_0 + C$ ) ονομάζεται όριο (sill), και θεωρητικά ισούται με την παραλλακτικότητα του πληθυσμού των δειγμάτων σε μεγάλες αποστάσεις διαχωρισμού εάν απουσιάζουν τοπικές τάσεις. Αν το nugget είναι περίπου ίδιο με το

sill, αυτό σημαίνει την απουσία χωρικής συσχέτισης και την τυχαία παραλλακτικότητα της Z, φαινόμενο γνωστό και ως nugget effect (Cressie N.A.C., 1993).

Η παράμετρος  $a$ , ονομάζεται εύρος ή ακτίνα (range), της χωρικής συσχέτισης, και η σπουδαιότητα της έγκειται στο ότι σημεία που απέχουν μεταξύ τους απόσταση μεγαλύτερη από αυτήν, δεν παρουσιάζουν καμία χωρική συσχέτιση, κάτι που μπορεί να έχει μεγάλη σημασία στο σχεδιασμό δειγματοληπτικών μεθόδων (Burgess T.M., Webster R., and McBratney A.B., 1981, Lark R.M., 2000, Groenigen J.W., 2000). Διάφορες τιμές της παραμέτρου  $a$  για μερικές εδαφικές ιδιότητες φαίνονται στον πίνακα 9 (Georeferenced Soil Database for Europe, European Soil Bureau. 1996).

Πίνακας 9. Διάφορες τιμές εύρους χωρικής συσχέτισης

| <b>Εδαφικές<br/>παράμετροι</b> | <b>Εύρος(m)</b> | <b>Χωρική<br/>Συσχέτιση</b> |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Υδραυλική Αγωγιμότητα          | 1-34            | Μικρό εύρος                 |
| % Αμμος                        | 5-40            | Μικρό εύρος                 |
| Εδαφικό pH                     | 20-260          | Μικρό προς μεγάλο<br>εύρος  |
| Διαθέσιμο εδαφικό K            | 75-248          | Μέσο προς μεγάλο<br>εύρος   |
| Διαθέσιμος εδαφικός P          | 68-260          | Μέσο προς μεγάλο<br>εύρος   |
| %Οργανική ουσία                | 112-250         | Μεγάλο εύρος                |

Οι τεχνικές της εφαρμογής των κατάλληλων θεωρητικών μαθηματικών προτύπων στα πειραματικά ημιβαριογράμματα είναι ποικίλες. Κατά γενική ομολογία, η προσπάθεια αυτή δεν αποτελεί μία μονόδρομη διαδικασία και αποτελεί σήμερα σημείο αντίφασης στο χώρο της γεωστατιστικής (Goovaerts P., 1999). Οι τεχνικές αυτές ποικίλουν από τις πλήρως αυτοματοποιημένες αριθμητικές μεθόδους, έως την υποκειμενική εφαρμογή συναρτήσεων στα πειραματικά ημιβαριογράμματα, με γραφικό τρόπο. Ακόμη, πολλοί ερευνητές υιοθετούν την άποψη ότι ένας συνδυασμός από αυτοματοποιημένες αριθμητικές μεθόδους και υποκειμενικές εκτιμήσεις των

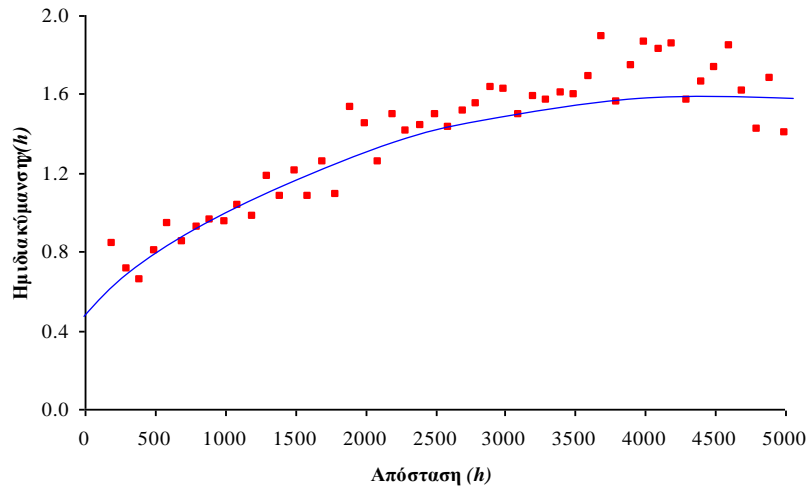
παραμέτρων (*range, sill*), αποτελεί την ρεαλιστικότερη προσέγγιση (McBratney A.B., Webster R., 1986).

Πράγματι, ο εκάστοτε ερευνητής μπορεί να αισθάνεται την σιγουριά στην επιλογή ενός συγκεκριμένου μαθηματικού προτύπου, αν αυτή βασίζεται σε κριτήρια στατιστικής φύσεως όπως το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών πειραματικών – θεωρητικών τιμών. Παρόλα αυτά με την χρήση τέτοιων κριτηρίων υπάρχει ο κίνδυνος της υπεραπλούστευσης του προβλήματος της εφαρμογής προτύπων σε πειραματικά ημιβαριογράμματα, στο μαθηματικό επίπεδο της εφαρμογής συναρτήσεων σε πειραματικά δεδομένα, προσέγγιση κάθε άλλο παρά ρεαλιστική. Ο αντικειμενικός σκοπός της όλης προσπάθειας είναι η δημιουργία ενός ρεαλιστικού θεωρητικού προτύπου που να περιγράφει με την μεγαλύτερη δυνατή σαφήνεια τα χωρικά χαρακτηριστικά της εδαφικής ιδιότητας ή παραμέτρου που εξετάζεται. Κάτι τέτοιο φαίνεται να είναι εφικτό μέσα από την χρήση αριθμητικών μεθόδων για την εφαρμογή στα πειραματικά βαριογράμματα, προτύπων που αρχικά επιλέγονται ή ορίζονται από τον χρήστη (Goonaerts P., 1999), μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε στην συγκεκριμένη μελέτη.

Παρόλη την μεγάλη ποικιλία μαθηματικών συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται για θεωρητικά πρότυπα, δεν υπάρχει μία *a priori* γνώση για τα πρότυπα εκείνα που είναι ιδανικότερα για την χωρική περιγραφή των εδαφικών ιδιοτήτων, και τις μεθόδους με τις οποίες αυτά εφαρμόζονται στα πειραματικά ημιβαριογράμματα (McBratney A.B., Webster R., 1986). Στην πράξη οι συναρτήσεις αυτές πρέπει να ικανοποιούν τουλάχιστο τρεις προϋποθέσεις (Zhang X.F., Eijkeren J.C.H, and Heemink A.W., 1995): να τέμνονται από τον άξονα των τεταγμένων ( $y$ ), να αυξάνουν μονοτονικά, και να τείνουν προς ένα μέγιστο (*sill*). Τα θεωρητικά πρότυπα που τυγχάνουν σήμερα γενικότερης αποδοχής και οι τυπικές γραφικές τους απεικονήσεις είναι ως εξής:

#### **Εκθετικό πρότυπο**

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma(h) = C_0 + C\{1 - \exp(-h/r)\} \quad , \quad \text{για } h > 0 \\ \gamma(0) = 0 \end{array} \right.$$

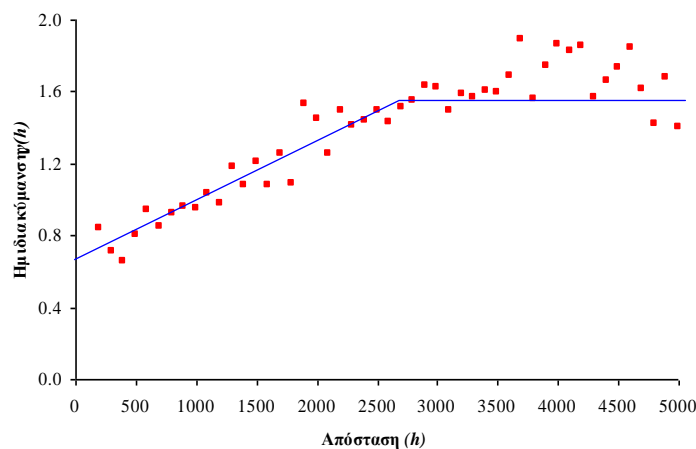


Σχήμα 3. Εκθετικό πρότυπο

Όπου η μη γραμμική παράμετρος  $r$ , καθορίζει την ακτίνα ή το εύρος της χωρικής παραλλακτικότητας. Παρόλα αυτά το sill (C) προσεγγίζεται ασυμπτωτικά από το παραπάνω πρότυπο και έτσι η ακτίνα αυτή δεν μπορεί να οριστεί άμεσα. Για πρακτικούς όμως σκοπούς η ημιπαραλλακτικότητα θεωρείται ότι σταματά να αυξάνει από ένα σημείο και μετά, καθορίζοντας έτσι το **ενεργό εύρος (effective range)**, η οποία συνήθως ορίζεται  $\alpha = 3r$  και είναι η απόσταση αυτή για την οποία το **όριο (sill)** προσεγγίζει την τιμή  $C_0 + 0.95C$ , για την περίπτωση του εκθετικού προτύπου.

#### Γραμμικό πρότυπο

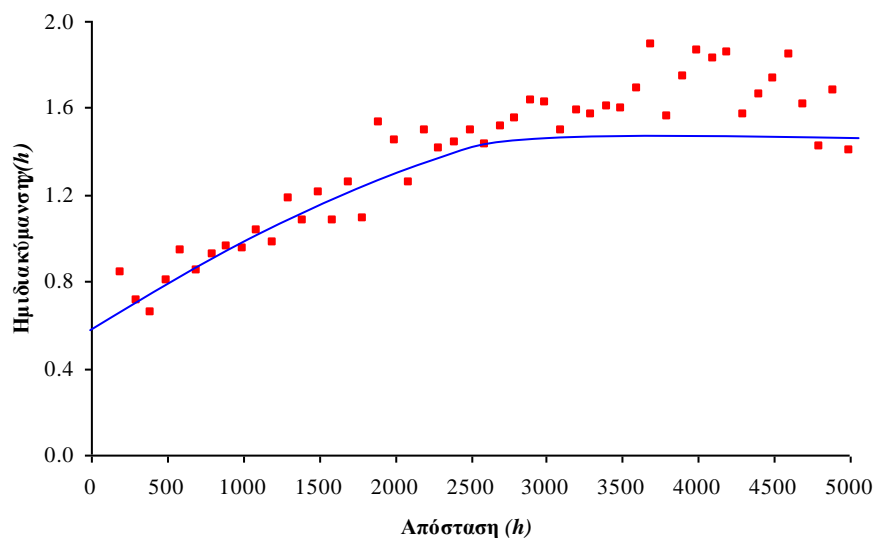
$$\left\{ \begin{array}{ll} \gamma(h) = C_0 + C\left(\frac{h}{a}\right) & \text{για } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = C_0 + C & \text{για } h > a \\ \gamma(0) = 0 & \end{array} \right.$$



Σχήμα 4. Γραμμικό πρότυπο

### Σφαιρικό πρότυπο

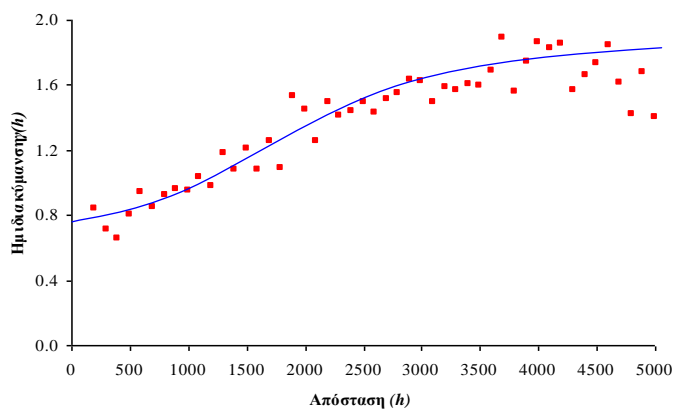
$$\left\{ \begin{array}{ll} \gamma(h) = Co + C\left\{\left(\frac{3h}{2a}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{h}{a}\right)^3\right\} & \text{για } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = Co + C & \text{για } h > a \\ \gamma(0) = 0 \end{array} \right.$$



Σχήμα 5. Σφαιρικό πρότυπο

### Gaussian πρότυπο

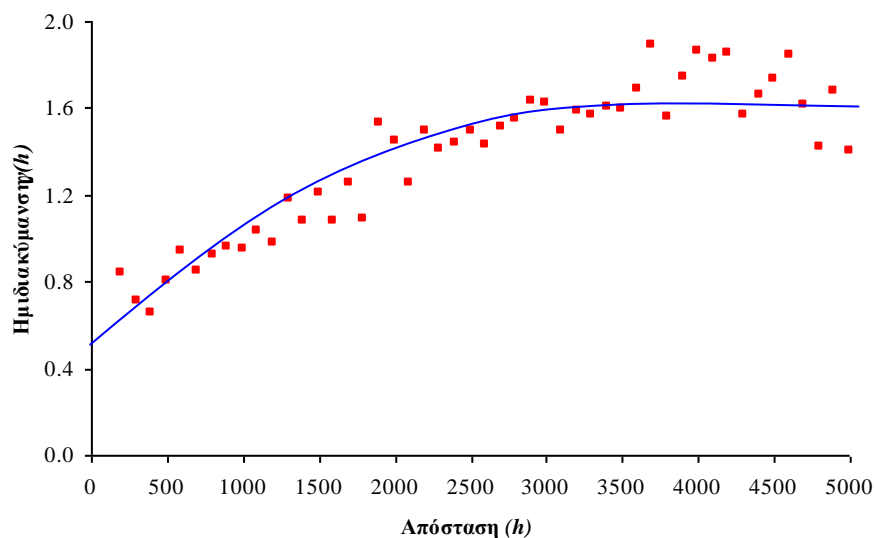
$$\left\{ \begin{array}{ll} \gamma(h) = Co + C\{1 - \exp(-h^2/r^2)\} & \text{για } h > 0 \\ \gamma(0) = 0 & a \approx \frac{3}{2}r \end{array} \right.$$



Σχήμα 6. Gaussian πρότυπο

### Κυκλικό πρότυπο

$$\left\{ \begin{array}{ll} \gamma(h) = Co + C \left\{ 1 - \left( \frac{2}{\pi} \right) \cos^{-1} \left( \frac{h}{a} \right) + \frac{2h}{\pi a} \sqrt{1 - \left( \frac{h^2}{a^2} \right)} \right\} & \text{για } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = Co + C & \text{για } h > a \\ \gamma(0) = 0 & \end{array} \right.$$



Σχήμα 7. Κυκλικό πρότυπο

Οι αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των παραπάνω θεωρητικών συναρτήσεων στα πειραματικά ημιβαριογράμματα είναι κυρίως οι μέθοδοι **εκτίμησης ελαχίστων τετραγώνων**. Με τις μεθόδους αυτές καλούμαστε συνήθως να εκτιμήσουμε τις παραμέτρους  $\theta = (Co, C, a)$ , της θεωρητικής συνάρτησης  $\gamma(h, \theta)$  που προσεγγίζει το πειραματικό ημιβαριόγραμμα, με την θεωρητική αυτή συνάρτηση να έχει τις μορφές που περιγράφηκαν παραπάνω (Cressie N.A.C., 1993).

Η κανονική μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων (*ordinary least squares*) για την εκτίμηση των βέλτιστων παραμέτρων των ημιβαριογραμμάτων κατά την εφαρμογή των θεωρητικών προτύπων, στηρίζεται στην ελαχιστοποίηση του

$$\sum_{j=1}^k [\hat{\gamma}(h_j) - \gamma(h_j)]^2$$



όπου  $\hat{\gamma}(h_i)$  και  $\gamma(h_i)$  οι θεωρητικές (δηλαδή οι εκτιμώμενες από την θεωρητική συνάρτηση), και οι πραγματικές τιμές της ημιπαραλλακτικότητας αντίστοιχα. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου για την εφαρμογή των θεωρητικών μοντέλων είναι η παραδοχή της κανονικής κατανομής (*normal distribution*) των διαφορών της παραπάνω εξίσωσης (Cressie N.A.C., 1993). Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται συχνά η μέθοδος των σταθμισμένων ελαχίστων τετραγώνων (*weighted least squares*), σύμφωνα με την οποία (Zhang X.F., Eijkeren J.C.H, and Heemink A.W., 1995) η εκτίμηση των βέλτιστων παραμέτρων των ημιβαριογραμμάτων βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του

$$\sum_{j=1}^k \frac{N(h_j)}{[\gamma(h_j)]^2} [\hat{\gamma}(h_j) - \gamma(h_j)]^2$$

που σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των ζευγών  $N(h_j)$  στο  $j$  σημείο, τόσο μεγαλύτερο σταθμικό συντελεστή λαμβάνει η διαφορά των ημιδιακυμάνσεων στο σημείο αυτό (Cressie N.A.C., 1993, Xiaodong J., Olea R., and Yun-Sheng Y., 1996). Σχετική με το πιο πάνω πρόβλημα είναι και η μέθοδος *Levenberg-Marquardt* (Zhang X.F., Eijkeren J.C.H, and Heemink A.W., 1995), που βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του

$$\sum_{j=1}^k \left[ \frac{\hat{\gamma}(h_j) - \gamma(h_j)}{\Delta_j} \right]^2 \quad \text{Με } \Delta_j \text{ την τυπική απόκλιση της } \gamma(h_j)$$

## 1.9 Εσωεκτίμηση Kriging

Ο όρος **Kriging** στην εσωεκτίμηση ή παρεμβολή, υπονοεί την χρήση Γεωστατιστικών μεθόδων για την πρόβλεψη της τιμής μιας μεταβλητής στο χώρο. Ο **D.G.Krige** χρησιμοποίησε πρώτος τέτοιες μεθόδους (1966) στην επιστήμη της μεταλλειολογίας (Clark I., 2001. Practical Geostatistics), οι οποίες στην συνέχεια επεκτάθηκαν και στην εδαφολογική επιστήμη κυρίως χάρη στους Burgess & Webster την δεκαετία '80 (Burgess T.M., Webster R., 1980 I & II). Οι παραλλαγές της

μεθόδου είναι αρκετές και καλύπτουν μία ευρεία ομάδα εφαρμογών στον τομέα της εδαφολογίας.

Η κανονική μέθοδος *Kriging* (*Ordinary Kriging*), βασίζεται στο χωρικό πρότυπο:

$$Z(x) = \mu + \delta(x), \quad (\text{βλ.εξ.1})$$

όπου  $\mu$ , ο μέσος όρος και  $Z(x)$  τυχαία συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής σταθερότητας (*intrinsic stationarity*) και βαριόγραμμα.

$$2\gamma(h) = \text{var}[z(x) - z(x+h)]$$

Η πρόβλεψη της μεθόδου για την τυχαία συνάρτηση  $Z(x)$ , στην θέση  $x_0$ , είναι ο σταθμικός μέσος των γειτονικών της  $x_0$  τιμών.

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^k \lambda_i z(x_i)$$

Όπου  $\lambda_i$  οι σταθμικοί συντελεστές που συνδέονται με τις γειτονικές θέσεις δειγματοληψίας. Για την αμεροληψία της πρόβλεψης απαιτείται όπως

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i = 1$$

Η παραλλακτικότητα  $\sigma_{ok}^2$  που σχετίζεται με την πρόβλεψη στην θέση  $x_0$  και είναι η αναμενόμενη τιμή της τετραγωνισμένης διαφοράς μεταξύ  $\hat{z}(x_0)$  και της πραγματικής τιμής εκεί  $z(x_0)$ , αποδεικνύεται ότι ικανοποιεί την σχέση

$$\sigma_{ok}^2 = E[\{z(x_0) - \hat{z}(x_0)\}^2] = 2 \sum_{i=1}^k \lambda_i \gamma(x_i - x_0) - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j)$$

Όπου  $\gamma(x_i - x_0)$  είναι η ημιπαραλλακτικότητα μεταξύ του σημείου για το οποίο ζητείται η πρόβλεψη και αυτού στη  $i$  θέση παρατήρησης, ενώ  $\gamma(x_i - x_j)$  είναι η ημιπαραλλακτικότητα μεταξύ των σημείων στις θέσεις  $i$  και  $j$ . Η βέλτιστη πρόβλεψη είναι αυτή που ελαχιστοποιεί την παραπάνω σχέση, ή ελαχιστοποιεί την

$$E[\{z(x_0) - \sum_{i=1}^k \lambda_i z(x_i)\}^2] - 2\psi \left\{ \sum_{i=1}^k \lambda_i - 1 \right\} = \Phi$$

ή

$$\Phi = \sigma_{ok}^2 - 2\psi \left\{ \sum_{i=1}^k \lambda_i - 1 \right\}$$

Όπου  $\psi$  ο πολλαπλασιαστής Lagrange που εξασφαλίζει την προϋπόθεση  $\sum_{i=1}^k \lambda_i = 1$

Οι βέλτιστοι παράμετροι που ελαχιστοποιούν την παραλλακτικότητα  $\sigma_{ok}^2$  του τετραγωνισμένου λάθους πρόβλεψης προκύπτουν από τον μηδενισμό των μερικών πρώτων παραγώγων της  $\Phi$  ως προς  $\lambda$  και  $\psi$ ,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda_i} = 0 \Rightarrow \sum_{j=1}^k \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + \psi = \gamma(x_0 - x_j) \quad j = 1, 2, \dots, k$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \psi} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^k \lambda_i = 1 \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Οι παραπάνω αποτελούν και το σύστημα εξισώσεων της κανονικής μεθόδου *Kriging*, η επίλυση του οποίου μας δίνει τους βέλτιστους σταθμικούς συντελεστές για την πρόβλεψη. Γράφοντας το σύστημα ως

$$\lambda_o \cdot \Gamma_o = \gamma_o \quad \text{άρα} \quad \lambda_o = \Gamma_o^{-1} \gamma_o$$

όπου,

$$\lambda_o = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_k \\ \psi \end{bmatrix} \quad \gamma_o = \begin{bmatrix} \gamma(x_0 - x_1) \\ \gamma(x_0 - x_2) \\ \vdots \\ \gamma(x_0 - x_k) \\ 1 \end{bmatrix} \quad \Gamma_o = \begin{bmatrix} 0 & \gamma(x_1 - x_2) & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma(x_1 - x_k) & 1 \\ \gamma(x_2 - x_1) & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma(x_2 - x_k) & 1 \\ \gamma(x_3 - x_1) & \gamma(x_3 - x_2) & \cdot & \cdot & \cdot & \gamma(x_3 - x_k) & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \gamma(x_k - x_1) & \gamma(x_k - x_2) & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & \cdot & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

και  $\Gamma_o$  συμμετρικός πίνακας  $(k+1) \times (k+1)$ , ο οποίος προκύπτει από την εφαρμογή μαθηματικών προτύπων σε πειραματικά ημιβαριογράμματα, όπως ήδη περιγράφηκε.

Η επίλυση του παραπάνω  $(k+1) \times (k+1)$  συστήματος, μας δίνει τις τιμές των σταθμικών παραμέτρων για την εκτίμηση  $\hat{z}(x_0)$ . Η επιλογή των γειτονικών της  $x_0$  τιμών που λαμβάνονται υπόψη για την πρόβλεψη στην θέση αυτή, πρακτικά περιλαμβάνει μόνο τις τιμές αυτές για τις οποίες οι σταθμικοί συντελεστές δεν είναι εξαιρετικά μικροί, ώστε να επηρεάζουν την πρόβλεψη (Goovaerts P., 1999, McBratney A.B., Webster R., 1986). Έτσι συνήθως ένας αριθμός γειτονικών τιμών λαμβάνεται υπόψη ο οποίος εξαρτάται κυρίως από την μορφή της χωρικής παραλλακτικότητας που εμφανίζεται. Γενικά, τα κοντινότερα σημεία λαμβάνουν μεγαλύτερη βαρύτητα στην πρόβλεψη, ενώ τα σημεία που βρίσκονται μεταξύ της θέσης πρόβλεψης και πιο απομακρυσμένων σημείων, επικαλύπτουν τα τελευταία με τρόπο ώστε αυτά να λαμβάνουν μικρότερη βαρύτητα στην πρόβλεψη από ότι θα λάμβαναν διαφορετικά. Η κανονική μέθοδος *Kriging*, έτσι όπως εφαρμόζεται περιορίζει την συνθήκη της σταθερότητας του μέσου όρου  $\mu$ ,

$$E[z(x)] = \mu$$

μόνο στην περιοχή των γειτονικών τιμών που εξετάζονται. Η παραπάνω συνθήκη είναι απόρροια της εγγενούς σταθερότητας η οποία όπως περιγράφηκε, αποτελεί υπόβαθρο για την εφαρμογή της μεθόδου. Συνήθως ένας αριθμός γειτονικών τιμών

12-24 είναι αρκετός για μία ικανοποιητική πρόβλεψη με την χρήση της εσωεκτίμησης *Kriging* (Burgess T.M., Webster R., 1980).

### 1.10 Εκτίμηση μεγέθους σφάλματος

Η γεωστατιστική προσέγγιση στην εκτίμηση και πρόβλεψη των εδαφικών ιδιοτήτων έτσι όπως έχει περιγραφεί ως τώρα, εμπεριέχει την πιθανότητα ή την αβεβαιότητα, με την έννοια ότι επιδιώκει την ελαχιστοποίηση της. Παρόλα αυτά διαφόρων ειδών σφάλματα υπεισέρχονται σε αυτήν την προσπάθεια, από το αρχικό στάδιο της μοντελοποίησης των πειραματικών ημιβαριογραμμάτων μέχρι την παρεμβολή και την εκτίμηση των παραμέτρων.

Το μέγεθος του σφάλματος της πρόβλεψης υπολογίζεται από τις κανονικές εξισώσεις *Kriging* που περιγράφηκαν αλλά δεν είναι αρκετό από μόνο του για την συνολική αξιολόγηση της γεωστατιστικής μεθόδου (Cressie N.A.C., 1993). Η ίδια η μεθοδολογία κατασκευής των πειραματικών ημιβαριογραμμάτων είναι ικανή να επηρεάσει την εμφάνιση των σφαλμάτων στο αρχικό αυτό στάδιο της ανάλυσης. Η λεπτομέρεια ή η *διακριτική ικανότητα* με την οποία τα ημιβαριογράμματα αυτά αποτυπώνουν την χωρική παραλλακτικότητα των υπό εξέταση μεταβλητών-εδαφικών ιδιοτήτων εξαρτάται άμεσα από το χωρικό βήμα  $h$  (*lag*). Μείωση του διαστήματος  $h$ , έχει ως συνέπεια την αύξηση των σημείων που εμφανίζονται στο ημιβαριόγραμμα, δηλαδή την αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας του. Παράλληλα όμως μειώνεται ο αριθμός των ζευγών  $n(h)$  που απέχουν απόσταση  $h$  για κάθε σημείο του ημιβαριογράμματος, ελατώνοντας την ακρίβεια εκτίμησης της ημιπαραλλακτικότητας για κάθε σημείο. Αυτό επιφέρει την αύξηση του σφάλματος με το οποίο το θεωρητικό πρότυπο προσεγγίζει την χωρική παραλλακτικότητα, όπως αυτό υπολογίζεται από το μέσο τετραγωνισμένο σφάλμα, ή το

$$RMSE = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n [\hat{\gamma}(h_i) - \gamma(h_i)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

όπου  $\hat{\gamma}(h_i)$  και  $\gamma(h_i)$  οι θεωρητικές και οι πραγματικές τιμές της ημιπαραλλακτικότητας αντίστοιχα.

Οι τεχνικές με τις οποίες επιλέγεται το κατάλληλο πειραματικό ημιβαριόγραμμα και η βέλτιστη συνάρτηση προσέγγισης του είναι αρκετές. Η τεχνική

**jack-knifing** ή διασταυρωμένη επιβεβαίωση των προβλέψεων (**cross-validation**) είναι ευρέως διαδεδομένη σήμερα στην εκτίμηση της καταλληλότητας των εφαρμοζόμενων θεωρητικών μοντέλων στα πειραματικά ημιβαριογράμματα, κυρίως χάρη στους Stone(1974) και Geisser(1975) που την υιοθέτησαν πρώτοι στις μελέτες τους (Cressie N.A.C., 1993). Η βασική ιδέα έγκειται στην απαλοιφή μίας τιμής από το σύνολο των χωρικών δεδομένων, και η χρησιμοποίηση των υπολοίπων με τις εξισώσεις της μεθόδου *Kriging*, για την πρόβλεψη της.

Η επανάληψη της διαδικασίας για το σύνολο των τιμών μας παρέχει την δυνατότητα της σύγκρισης των εκτιμώμενων  $\hat{z}(x_i)$  με τις πραγματικές τιμές  $z(x_i)$  για κάθε χωρική θέση  $i$ , και την εκτίμηση της ακρίβειας των προβλέψεων με την μορφή των τετραγωνισμένων διαφορών όπως παρακάτω

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\hat{z}(x_i) - z(x_i)]^2$$

ή

$$RMSE = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n [\hat{z}(x_i) - z(x_i)] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Τέλος, όπως προτείνεται και από την πλειονότητα των ερευνητών (Burgess T.M., Webster R., 1980, Lark R.M., Bolam H.C., 1997, Lloyd C.D., Atkinson P.M., 2001, Clemens J., Schillinger M.P., Goldbach H., 1999, Goovaerts P., 1998) σαν τον τελικό έλεγχο της απόδοσης της μεθόδου πρόβλεψης, ένα μέρος των διαθέσιμων δεδομένων παραμένει εκτός της διαδικασίας ανάλυσης και πρόβλεψης σχηματίζοντας έτσι ένα σετ επαληθεύσεως των προβέψεων που η μέθοδος μας δίνει για τις θέσεις αυτές. Η αποτελεσματικότητα της πρόβλεψης εκτιμάται από τις διαφορές μεταξύ των τιμών πρόβλεψης  $z^*(x_i)$  και των τιμών επαλήθευσης  $z(x_i)$ , με την χρήση κατάλληλων δεικτών σφαλμάτων όπως παραπάνω, και συγκεκριμένα των

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$$

που μετρούν την απόκλιση και την ακρίβεια της πρόβλεψης αντίστοιχα.

### **1.11 Ανάλυση του εδάφους για την εκτίμηση της περιεκτικότητάς του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία**

Ανάλυση του εδάφους σημαίνει κάθε φυσικός ή χημικός προσδιορισμός που γίνεται σε ένα έδαφος, που οι στόχοι του μπορεί να είναι ποικίλοι και συχνά αστικής ή περιβαλλοντικής κατεύθυνσης.

Σύμφωνα με τον Μήτσιο (2004), η ανάλυση του εδάφους είναι το κύριο διαγνωστικό εργαλείο που στην απλούστερη μορφή της έχει καθαρά ποιοτικό χαρακτήρα, ενώ η πλέον προχωρημένη μεθοδολογία έχει χαρακτήρα ποσοτικό. Με την ποιοτική μέθοδο μπορεί να διαγνωστεί μόνο η φύση του προβλήματος δηλαδή αν προκύπτει έλλειψη ή πλεονασματικότητα ενός ή περισσότερων θρεπτικών στοιχείων.

Οι ποσοτικές μέθοδοι προσδιορίζουν συγχρόνως και το μέγεθος του προβλήματος, αντιστοίχως δε τις ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν στο έδαφος για τη συνολική διαχείριση του εδάφους

### **1.12 Προϋποθέσεις και στόχοι της εδαφικής ανάλυσης**

Περιγράφονται από τον Μήτσιο (2004) και αφορούν κάθε φυσικό ή χημικό προσδιορισμό που γίνεται σε ένα έδαφος, που οι στόχοι του μπορεί να είναι ποικίλοι και συχνά αστικής ή περιβαλλοντικής κατεύθυνσης.

Για το χαρακτηρισμό της γονιμότητας όμως του εδάφους δεν λαμβάνεται υπόψη μόνο ο φυσικοχημικός του χαρακτήρας αλλά πρωτίστως η περιεκτικότητά του σε διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία (soil testing). Στον όρο soil testing δεν περιλαμβάνεται μόνο η ανάλυση του εδάφους για τον προσδιορισμό της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων αλλά και η αξιολόγηση του αναλυτικού αποτελέσματος με σκοπό τη σύσταση της ενδεικνυόμενης λιπαντικής αγωγής. Τελικώς, με τη διαπίστωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία (soil testing) ακολουθεί η συμβουλευτική λίπανση (fertilizer recommendations).

Σκοπός της ανάλυσης του εδάφους είναι:

- Η εκτίμηση με ακρίβεια του βαθμού επάρκειας των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων.

- Η ενημέρωση των παραγωγών για τη σοβαρότητα της έλλειψης ή της περίσσειας ενός θρεπτικού στοιχείου ή πολλών θρεπτικών στοιχείων σε σχέση με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας.
- Η εκτίμηση των λιπαντικών αναγκών της καλλιέργειας
- Η έκφραση των αποτελεσμάτων με τρόπο ώστε να είναι εφικτή η οικονομική αξιολόγηση των παρεχόμενων συστάσεων ή συνταγών λιπάνσεως.
- Η παροχή συμβουλών για την άριστη αειφορική διαχείριση του εδάφους.

Με την ανάλυση του εδάφους επιδιώκεται η εκτίμηση του βαθμού διαθεσιμότητας ή διαφορετικά η εκτίμηση του διαθέσιμου κλάσματος των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων.

Τονίζεται ότι η εδαφική ανάλυση ρουτίνας αποτελεί ημιποσοτική μεθοδολογία. Δηλαδή, δεν είναι σε θέση να προσδιορίσει επακριβώς το διαθέσιμο κλάσμα, αλλά απλώς το προσεγγίζει. Με την εδαφοανάλυση ρουτίνας επιδιώκεται η προσέγγιση μιας ποσότητας (ή κλάσματος) θρεπτικού στοιχείου ώστε η μεταβολή του διαθέσιμου κλάσματος να βρίσκεται σε αντίστοιχη μεταβολή της παραγωγικής συμπεριφοράς μιας καλλιέργειας. Η τρέχουσα πρακτική σημασία του όρου διαθέσιμο κλάσμα έχει μεγάλη σημασία. Όμως στην πράξη περιπλέκεται η ακριβής συσχέτιση του αποτελέσματος της ανάλυσης του εδάφους και της παραγωγικής συμπεριφοράς της καλλιέργειας καθώς δεν είναι προκαθορισμένη η σχέση αυτή.

Η συσχέτιση αυτή θα πρέπει να διαπιστωθεί με πειραματισμό. Ο πειραματισμός αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για τη βαθμονόμηση (calibration) της αντίστοιχης μεθόδου εδαφικής ανάλυσης. Η καταλληλότητα της μεθόδου εδαφικής ανάλυσης εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες του εδάφους (φυσικές, χημικές και ορυκτολογικές). Επίσης η βαθμονόμηση διαφέρει κατά περίπτωση και εξαρτάται όχι μόνο από την αναλυτική μέθοδο αλλά και από το είδος της καλλιέργειας καθώς και από άλλες συνθήκες.

### **1.13 Προγράμματα ανάλυσης του εδάφους**

Κάθε πρόγραμμα ανάλυσης του εδάφους μπορεί να περιλάβει τις εξής φάσεις διεξαγωγής: (I) δειγματοληψία εδάφους (II) προπαρασκευή των εδαφικών δειγμάτων (III) ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων (IV) συσχέτιση και βαθμονόμηση (Μήτσιος, 2003).



### 1.14 Δειγματοληψία εδάφους στον αγρό

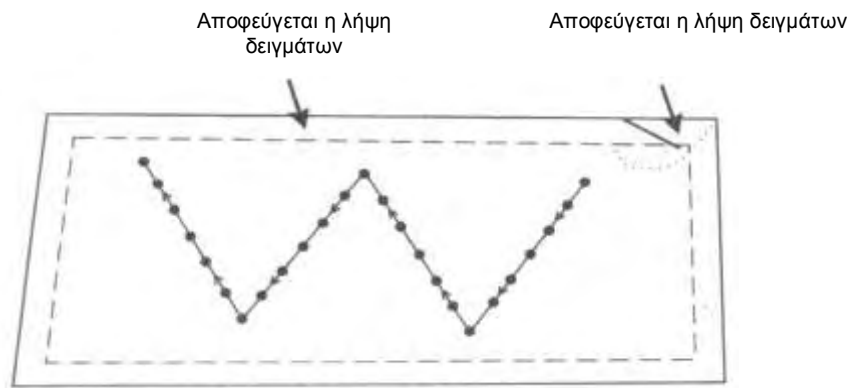
Βασικός σκοπός της δειγματοληψίας του εδάφους είναι η συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών για τη μελέτη της γονιμότητας του εδάφους και ειδικότερα για τη συγκέντρωση όλων εκείνων των επιστημονικών πληροφοριών που αφορούν τη μελέτη των προβλημάτων θρέψης των φυτών, της λίπανσης των καλλιεργειών, τη διερεύνηση των χημικών, φυσικών και βιολογικών παραμέτρων του εδάφους που θα αξιοποιηθούν για να στηριχθεί η ακολουθητέα λιπαντική αγωγή, καθώς και την πολιτική που είναι απαραίτητη να εφαρμοσθεί προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα ρύπανσης των εδαφών, από νιτρικά και νιτρώδη ιόντα καθώς και από τα ρυπογόνα στοιχεία Cd, Pb, Se, Cr, As, Ni, Hg, κ.λ.π. (Rowell, 1995; Μήτσιος, 2004).

Έτσι τα δείγματα του εδάφους λαμβάνονται με ειδικούς δειγματολήπτες που διαφέρουν στο μέγεθος και στη σχεδίασή τους. Οι δειγματολήπτες περιστρέφονται και πιέζονται για να εισέλθουν στο έδαφος και στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα εδάφους από το επιθυμητό βάθος π.χ. 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm 90-100cm και 120-150cm ή 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm ανάλογα τους σκοπούς της δειγματοληψίας (βαθύρριζα φυτά, επιπολαιόρριζα φυτά, δενδρώδεις καλλιέργειες).

Τα δείγματα εδάφους αναπόφευκτα διαταράσσονται σε διάφορο βαθμό. Οι παρατηρήσεις που γίνονται σ' αυτά όπως το χρώμα, η κοκκομετρική σύσταση οι πέτρες, οι ρίζες από τα φυτά το βάθος της εδαφικής κατατομής, καταγράφονται για το χαρακτηρισμό του εδάφους. Η δομή του εδάφους στις περιπτώσεις αυτές είναι αδύνατον να χαρακτηριστεί εκτός αν τα δείγματα του εδάφους είναι αδιατάρακτα.

Πριν από τη δειγματοληψία η επιφάνεια του εδάφους καθαρίζεται από τα χόρτα, τις πέτρες και από τα φυτά. Για να αποφευχθούν επιμολύνσεις από τις συνεχείς κατακόρυφες δειγματοληψίες πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για τον καθαρισμό του δειγματολήπτη από το έδαφος και στη συνέχεια ο δειγματολήπτης να εισέρχεται στο όρυγμα (τομή) που διανοίχτηκε για να ληφθεί δείγμα εδάφους από μεγαλύτερο βάθος.

Προκειμένου να ληφθούν αντιπροσωπευτικά δείγματα από έναν αγρό κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν δείγματα ακολουθώντας διαδρομή σχήματος W (εικόνα 12)



**Εικόνα 12** Λήψη δειγμάτων εδάφους στον αγρό

Κατά τη δειγματοληψία πρέπει να αποφεύγεται η λήψη δειγμάτων εδάφους από θέσεις ή σημεία του εδάφους που οι ιδιότητες του εδάφους διαφέρουν από τις πραγματικές ιδιότητες του εδάφους του αγρού, έτσι δε λαμβάνονται δείγματα από θέσεις που βρίσκονται πλησίον των εισόδων και των γωνιών που δημιουργούν οι γεωργικοί ελκυστήρες κατά την άροση, από θέσεις πλησίον οδών, στραγγιστικών τάφρων ή αρδευτικών αυλακιών. Αν σε κάποια σημεία προστέθηκαν μεγάλες ποσότητες ασβεστίου ή μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων επίσης δε λαμβάνονται δείγματα εδάφους.

Ο αριθμός των δειγμάτων αποτελεί βασικό παράγοντα μείωσης της ανομοιομορφίας του εδάφους και βελτίωση της ακριβείας των αποτελεσμάτων. Ο αριθμός των δειγμάτων εξαρτάται από την ομοιομορφία εδαφικής μάζας (βάθος, ανάγλυφο και φυσικά χαρακτηριστικά).

Εξαιτίας της μεγάλης ανομοιομορφίας του εδάφους δημιουργήθηκε η ανάγκη της ταξινόμησης των εδαφών σε διάφορες ταξινομικές μονάδες που η καθεμία ταξινομική μονάδα διαφέρει από τις άλλες ως προς τα βασικά χαρακτηριστικά (κοκκομετρική σύσταση, βάθος χρώμα,  $\text{CaCO}_3$ , pH κ.λ.π.).

Οι παράγοντες που καθορίζουν τον αριθμό των δειγμάτων που θα ληφθούν από τον αγρό είναι οι εξής:

- Ο βαθμός της ακρίβειας
- Ο βαθμός ομοιομορφίας του εδάφους
- Ο ειδικός σκοπός της ανάλυσης
- Το βάθος της δειγματοληψίας
- Η έκταση της περιοχής από την οποία θα ληφθούν τα δείγματα του εδάφους
- Ο οικονομικός παράγοντας
- Η εργαστηριακή υποδομή

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε για έκταση 2-5 στρεμμάτων συνήθως λαμβάνονται 2-3 μικτά δείγματα εδάφους. Όταν η δειγματοληψία γίνεται για πρώτη φορά λαμβάνονται τρία δείγματα. Το επιφανειακό δείγμα (0-30 cm) προέρχεται από 5 δείγματα ή από ένα μικτό επιφανειακό δείγμα, στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα από βάθος 30-60 cm και από βάθος 60-90 cm. Η συχνότητα της δειγματοληψίας εξαρτάται από την ομοιομορφία του εδάφους από το είδος της καλλιέργειας ως και το βαθμό της εντατικοποίησης της καλλιέργειας.

Για κηπευτικά υπό κάλυψη η δειγματοληψία γίνεται δυο φορές το χρόνο. Στις μεγάλες καλλιέργειες και στις δενδρώδεις καλλιέργειες η δειγματοληψία του εδάφους γίνεται μια φορά το χρόνο. Κατά τη δειγματοληψία του εδάφους θα πρέπει να αποφεύγονται μολύνσεις από διάφορα μέταλλα στις περιπτώσεις που το δείγμα του εδάφους χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό διαφόρων μικροθρεπτικών π.χ. Zn, Mn, Cu, Mo, B.

Στις περιπτώσεις αυτές κρίνεται απαραίτητο να αποφεύγεται η χρήση εργαλείων ή δοχείων από γαλβανισμένο μέταλλο, μαλακό σίδηρο ή μπρούτζο. Επίσης τα δείγματα του εδάφους πρέπει να τοποθετούνται σε πλαστικές σακούλες. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει αποδεκτός τρόπος δειγματοληψίας του εδάφους για να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την ανομοιογένεια του εδάφους σε μια περιοχή (Webster and Oliver, 1990). Τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών επηρεάζονται και από άλλους παράγοντες όπως:

- Το βάθος της δειγματοληψίας
- Τα σύνθετα δείγματα λαμβάνονται από σημεία ή περιοχές που έχουν ανομοιομορφία
- Η λήψη σύνθετων δειγμάτων από ομοιόμορφες περιοχές αλλά με διαφορετικό ιστορικό ασβέστωσης
- Η διαφορετική περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των διάφορων δειγμάτων
- Μερικές φορές τα δείγματα του εδάφους περιέχουν μαλακά πετρώματα
- Η λήψη δειγμάτων εδάφους από περιοχές όπου έγινε ανομοιόμορφη εφαρμογή λιπασμάτων ή και υλικών ασβέστωσης.
- Σε συνθήκες ξηρασίας δε διαλύονται στο έδαφος τα λιπάσματα που προστίθενται
- Η προετοιμασία των δειγμάτων ή η κατεργασία αυτών σε μολυσμένο περιβάλλον ή σε ακατάλληλα σκεύη
- Η κακή συσκευασία του δείγματος

Μερικές φορές γίνονται λάθη στην τοποθέτηση των καρτών στις πλαστικές σακούλες συσκευασίας με αποτέλεσμα να μη γίνεται η σωστή περιγραφή των εδαφικών δειγμάτων.

### **1.15 Συσχέτιση και βαθμονόμηση**

Κάθε μέθοδος ανάλυσης του εδάφους πρέπει να συσχετιστεί (correlation) με πειραματικά δεδομένα αγρού και να γίνει βαθμονόμηση (calibration) της μεθόδου αυτής, διαφορετικά η ερμηνεία των αποτελεσμάτων δεν θα έχει αξία για λιπαντικές αγωγές. Η συσχέτιση εκφράζει το βαθμό της συµμεταβολής μεταξύ εργαστηριακού αποτελέσματος και πρόσληψης του θρεπτικού στοιχείου από φυτά σε πειράματα δοχείων.

Με τη διαδικασία αυτή αξιολογείται η μέθοδος ανάλυσης του εδάφους και κατά πόσο αυτή η μέθοδος εκφράζει τη διαθεσιμότητα ενός θρεπτικού στοιχείου του εδάφους. Η βαθμονόμηση αφορά στην αμοιβαία ποσοτική σχέση μεταξύ της ανάλυσης του εδάφους και παραγωγικού αποτελέσματος μιας καλλιέργειας. Η συσχέτιση και βαθμονόμηση απαιτούν χημικές αναλύσεις με διάφορα εκχυλιστικά και πειραματισμό για κάθε καλλιέργεια και περιοχή.

Η βαθμονόμηση μιας μεθόδου ανάλυσης του εδάφους έχει ως σκοπό τον καθορισμό διαφορετικών βαθμίδων ποσοτικής επάρκειας. Η πιο στοιχειώδης ημιποσοτικής φύσεως βαθμονόμηση, είναι ο καθορισμός ενός ορίου επάρκειας (sufficiency limit) που αναφέρεται ως και κρίσιμο επίπεδο (critical level). Άνωθεν του ορίου επάρκειας οι καλλιέργειες δεν αντιδρούν παραγωγικά στην πρόσληψη του θρεπτικού στοιχείου, ενώ όταν η τιμή από την ανάλυση του εδάφους είναι κάτωθεν του ορίου επάρκειας αναμένεται απώλεια της παραγωγής, η οποία αποφεύγεται μόνο με την προσθήκη του ελλείποντος θρεπτικού στοιχείου.

Για ένα συγκεκριμένο καλλιεργούμενο είδος κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι εδαφικοί και καλλιεργητικοί παράγοντες.

Εκτός από τους καλλιεργητικούς παράγοντες σπουδαίο ρόλο διαδραματίζει το ύψος της αναμενόμενης απόδοσης (δυναμικό παραγωγής). Υψηλό δυναμικό παραγωγής που οφείλεται σε γενική βελτίωση των συνθηκών καλλιεργητικής διαχείρισης, βελτιωμένο γενετικό υλικό που προϋποθέτει αυξημένες θρεπτικές ανάγκες και απαιτεί προσεκτική βαθμονόμηση των μεθόδων της ανάλυσης του εδάφους (Barber, 1973).

Διακρίνονται 3-5 επίπεδα επάρκειας (sufficiency levels) δηλαδή πολύ χαμηλό, χαμηλό, μέσο, υψηλό και πλεονασματικό. Συνήθως μια βαθμονόμηση που βασίζεται σε μια εξίσωση συμμεταβολής δεν απαντά στο ερώτημα, πόσο λίπασμα πρέπει να προστεθεί για να ανέλθει η τιμή που προκύπτει από την εδαφική ανάλυση στην επιθυμητή στάθμη.

Τέτοιες προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος λίπανσης των καλλιεργειών ισχύουν μόνο σε περιορισμένο εύρος εδαφικών και καλλιεργητικών συνθηκών και μάλιστα σε συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα αντίστοιχα πειράματα. Η επίλυση του προβλήματος της λίπανσης απαιτεί και συμπληρωματικές πληροφορίες ήτοι:

- την ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που παραλαμβάνει η ίδια καλλιέργεια ανά μονάδα επιφανείας, η οποία εξαρτάται από το ύψος της παραγωγής και
- το βαθμό της αξιοποίησης του λιπάσματος που εξαρτάται κυρίως από τη φύση του θρεπτικού στοιχείου. Το άζωτο των λιπασμάτων αξιοποιείται σε ποσοστό 30-60% κατά μέσο όρο. Αντίστοιχα, ο φώσφορος κατά 10-20% και σε ένα ενδιάμεσο ποσοστό το κάλιο. Επίσης η αξιοποίηση του λιπάσματος εξαρτάται από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς και τη μέθοδο και το χρόνο εφαρμογής.

Ο καθορισμός των λιπαντικών αναγκών εξαρτάται από τους στόχους κάθε προγράμματος.

Οι στόχοι αυτοί μπορεί να είναι:

- Η επίτευξη μιας οριακής τιμής επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων με απλή αναπλήρωση των θρεπτικών απωλειών, ή
- Η δημιουργία ενός ικανοποιητικού επιπέδου γονιμότητας του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή η ζητούμενη τιμή της ανάλυσης του εδάφους είναι αρκετά υψηλότερη από την οριακή.

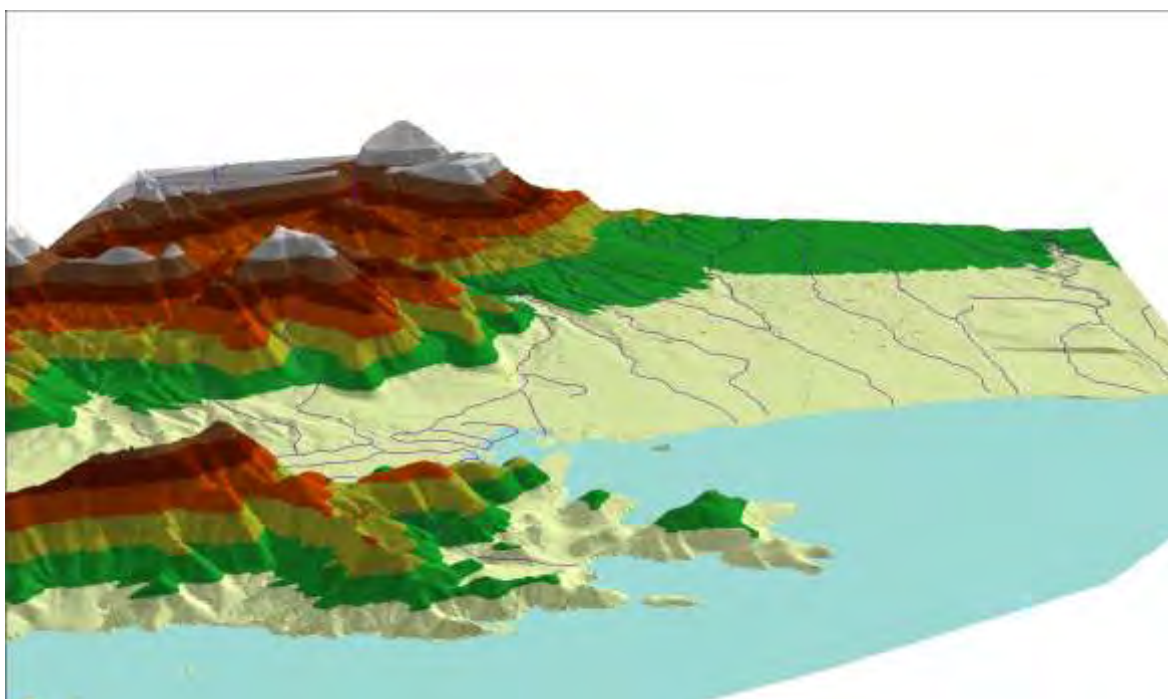
Συμπερασματικά η επιλογή του επιδιωκόμενου στόχου σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από περισσότερους παράγοντες οπωσδήποτε δε και από οικονομικούς παράγοντες.

**2.1 Περιοχή Δειγματοληψίας**

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στη περιοχή Αλμυρού η οποία βρίσκεται στο νομό Μαγνησίας . Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τα δημοτικά διαμερίσματα Αλμυρού, Ευξεινουπόλεως, Κροκίου, Πλατάνου, Νέας Αγχιάλου, Αϊδινίου, Μικροθηβών, Αγίας Τριάδος και Βруναίνης. Η έκταση της περιοχής από όπου ελήφθησαν τα δείγματα ανέρχεται περίπου σε 136362 στρέμματα.

Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής είναι σχετικά ομαλό αφού υπάρχουν μικροί λοφίσκοι ενώ γύρω από την πεδιάδα του Αλμυρού υπάρχουν ορεινοί όγκοι.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής περιλαμβάνει κυρίως από τον ποταμό Ξηριά ο οποίος εκβάλλει στον Όρμο του Αλμυρού. Ο ποταμός αυτός με τη βοήθεια ενός συμπλέγματος ρεμμάτων όπως το Ξηρόρρεμα, το Πλατανόρρεμα, το Χολόρρεμα κ.α. αποστραγγίζουν το κάμπο του Αλμυρού σχετικά καλώς. Εξαίρεση αποτελεί περιοχή του Όρμου της Σούρπης όπου υπάρχει ελώδης περιοχή. Η υδρογραφία της περιοχής καθώς και το τοπογραφικό ανάγλυφο διακρίνονται στη τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής δειγματοληψίας της εικόνας 13.



**Εικόνα 13.** Τρισδιάστατη απεικόνιση του κάμπου του Αλμυρού, με υπέρθεση του υδρογραφικού δικτύου

Η γεωλογία της περιοχής περιλαμβάνει κυρίως ασβεστολιθικά πετρώματα καθώς και αλουβιακές αποθέσεις. Το σύνολο της γεωλογίας της περιοχής διακρίνεται στο γεωλογικό χάρτη Αλμυρού (εικόνα 14).



Εικόνα 14. Γεωλογικός χάρτης Αλμυρού (Δρ. Σ. Φλωράς)

## 2.2 Λήψη εδαφικών δειγμάτων

Πραγματοποιήθηκε αρχικά μελέτη της περιοχής με την βοήθεια των χαρτών του Ινστιτούτου Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας, με σκοπό τον καθορισμό της περιοχής δειγματοληψίας. Εξετάστηκαν παράμετροι με σκοπό να καθοριστεί ο τρόπος λήψης των εδαφικών δειγμάτων. Έγινε μελέτη της τοπογραφίας του εδάφους, του τύπου βλάστησης που επικρατεί στην περιοχή και του περιβάλλοντος και επιλέχθηκε το σχέδιο της Τυχαίας Δειγματοληψίας. Η λήψη των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε από τις 11/05/2004 έως τις 2/06/2004. Ο κύριος όγκος των εδαφικών δειγμάτων προέρχεται από καλλιέργειες βαμβακιού, σιταριού και μηδικής.

Τυχαία Δειγματοληψία γίνεται όταν τα εδαφικά δείγματα επιλέγονται τυχαία από μία περιοχή που θέλουμε να μελετήσουμε. Όταν κάθε εδαφικό δείγμα έχει την ίδια ευκαιρία να επιλεγεί. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι, το δείγμα

θεωρείται αντιπροσωπευτικό της περιοχής από την οποία προέρχεται. Το μειονέκτημα είναι ότι μπορεί να οδηγήσει σε μία άνιση κατανομή των σημείων δειγματοληψίας, εκτός και αν τα πολλά σημεία δειγματοληψίας μπορούν να μετρηθούν, πράγμα το οποίο συνήθως εμποδίζεται από το υπερβολικό κόστος. Η Τυχαία Δειγματοληψία παρέχει ικανοποιητική εκτίμηση του μέσου όρου και του CL, αλλά μπορεί να μην παρέχει ικανοποιητικές πληροφορίες για το σχέδιο διαταραχής. Η θέση (συντεταγμένες  $\chi$ ,  $\psi$  σε μοίρες) των σημείων δειγματοληψίας καθορίστηκε με την βοήθεια του DGPS (Differentially Corrected GPS)(εικόνα 15).

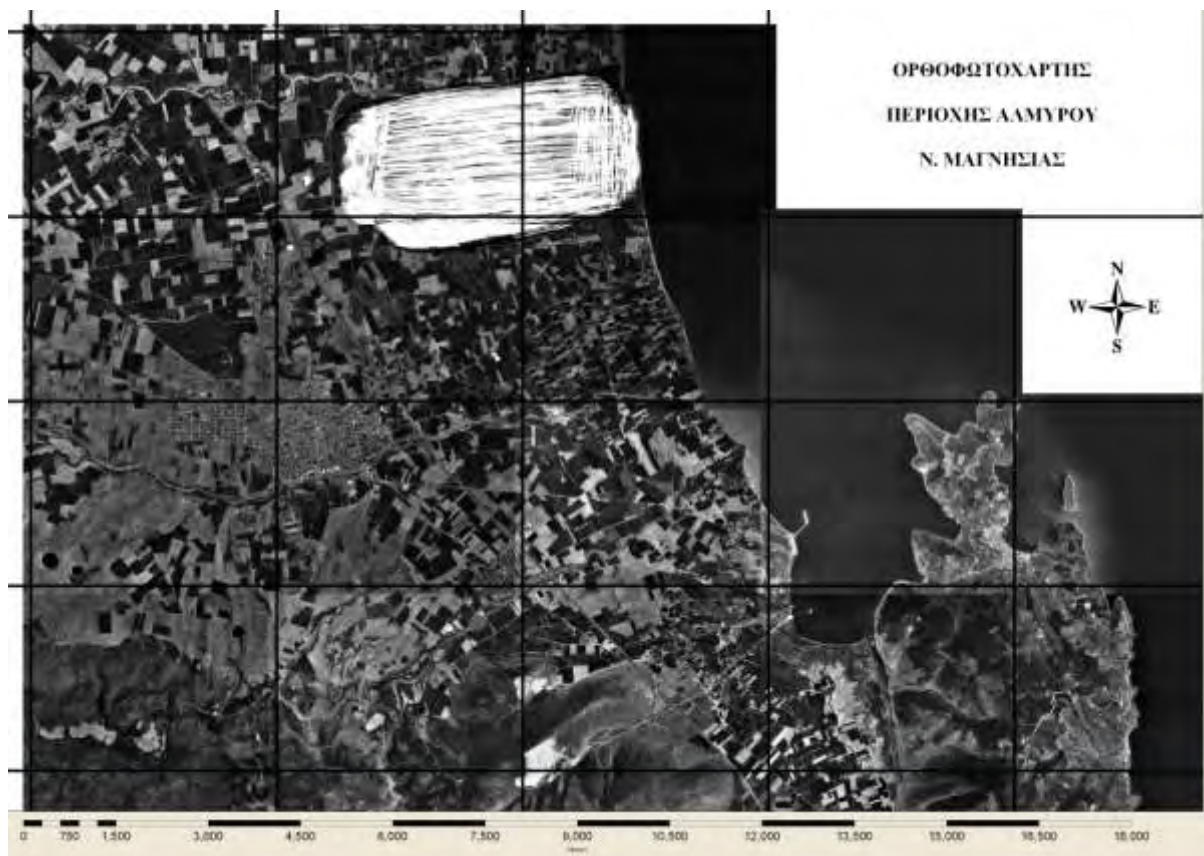


**Εικόνα 15** Δέκτης DGPS

Η δειγματοληψία έγινε σε 135 σημεία και σε βάθος 0-30 cm με τη βοήθεια ειδικού οχήματος που ευγενικά παραχωρήθηκε από το Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών Λάρισας και υπό την επίβλεψη του ερευνητή και πρώην διευθυντή του ΙΧΤΕΛ Δρ Σταμάτη Φλωρά. Για τον καλύτερο προσανατολισμό της ομάδας δειγματοληψίας δημιουργήθηκε ορθοφωτοχάρτης της περιοχής (εικόνα 16).

Τα εδαφικά δείγματα που ελήφθησαν έχουν βάρος 1 kg περίπου ενώ επίσης ελήφθησαν και δείγματα πετρωμάτων καλσικών οριζόντων καθώς και φωτογραφίες της περιοχής. Τα εδαφικά δείγματα ελήφθησαν με τη βοήθεια εδαφολήπτη του οίκου Edeiman (εικόνα 17), τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες περιεκτικότητας 1500 g, αναμίχθηκαν, και σε κάθε σακούλα τοποθετήθηκε χάρτινη καρτέλα στην οποία αναγράφηκαν με μολύβι τα χαρακτηριστικά του δείγματος (αριθμός σημείου, συντεταγμένες σημείου, ημερομηνία λήψης).





**Εικόνα 16.** Ορθοφωτοχάρτης περιοχής Αλμυρού.



**Εικόνα 17** Εδαφολήπτης του οίκου Edelman

### **2.3 Προετοιμασία των εδαφικών δειγμάτων**

Τα εδαφικά δείγματα αμέσως μετά την λήψη τους το Μάιο του 2004, μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών του ΕΘΙΑΓΕ Λάρισας. Αεροξηράνθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου για

χρονικό διάστημα 15 ημερών και αφού διήλθαν από κόσκινα (2mm) διατηρήθηκαν σε πλαστικές σακούλες περιεκτικότητας 1500 g.

## 2.4 Εδαφικό pH (ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ) (H<sub>2</sub>O 1:1)

Το pH ή ενεργός οξύτητα του εδάφους είναι μία από τις πρώτες αναλύσεις που γίνονται σε ένα εδαφικό δείγμα. Υπάρχουν πάνω από μία μεθοδολογίες για την ανάλυση αυτή. Η πλέον διαδεδομένη είναι αυτή της δημιουργίας αιωρήματος δια της ανάμιξης με νερό σε αναλογία βάρους (έδαφος/νερό) 1:1. Ακολουθείται λοιπόν η παρακάτω διαδικασία.

Διαδικασία :

Ζυγίζουμε 20 g εδαφικού δείγματος και τα τοποθετούμε σε ποτήρι ζέσεως των 50 mL. Προσθέτουμε επίσης 20 mL αποσταγμένου νερού και στη συνέχεια αναμιγνύουμε με μία ράβδο ανάδευσης, αρκετές φορές. Μετά από μία ώρα μετράμε το pH του μίγματος εδάφους - νερού με πεχάμετρο το οποίο προηγούμενα θα πρέπει να έχει καλιμπραριστεί σε μία περιοχή τιμών από 4 ως 9. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο ή τρία ρυθμιστικά διαλύματα με τιμές 4, 7 και 9.

## 2.5 Προσδιορισμός ανθρακικού ασβεστίου (Μέθοδος Bernard)

Το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>) προσδιορίζεται με τη συσκευή Bernard. Με τη συσκευή αυτή συλλέγεται και ογκομετρείται το εκλυόμενο CO<sub>2</sub>, το οποίο παράγεται κατά την επίδραση αραιού HCl στα ανθρακικά άλατα του εδάφους σύμφωνα με την αντίδραση



Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται όλα τα ανθρακικά άλατα ανεξάρτητα από τα κατιόντα τους. Επειδή όμως τα ανθρακικά άλατα υπερτερούν συνήθως ποσοτικά των άλλων κατιόντων, ουσιαστικά το εκλυόμενο CO<sub>2</sub> αποδίδεται σε CaCO<sub>3</sub>.

♦ Αντιδραστήρια :

1. Διάλυμα HCl (αραίωση 1:2).

♦ Διαδικασία :

Ζυγίζουμε από 0,5 ως 1,0 g εδαφικού δείγματος (ανάλογα με το αν αναβράζει λίγο ή πολύ το προς εξέταση έδαφος) και το τοποθετούμε σε κωνική φιάλη των 250 mL. Γεμίζουμε μία από τις ειδικές κάψες της συσκευής περίπου μέχρι τα 3/4 του όγκου της με το διάλυμα HCl και το βάζουμε με προσοχή στην φιάλη για να μην αδειάσει το περιεχόμενό του. Πωματίζουμε την κωνική φιάλη με το ειδικό πώμα που είναι

συνδεδεμένο με ελαστικό σωλήνα με τη συσκευή και αδειάζουμε τον αέρα από τη φιάλη ανοίγοντας τη στρόφιγγα.

Παίρνουμε την κρεμασμένη χοάνη της συσκευής με το αριστερό χέρι και τη φέρουμε στον αριθμημένο σωλήνα της συσκευής σε ύψος ίσο και λίγο πάνω από το μηδέν της κλίμακας του σωλήνα. Με το δεξί μας χέρι πιάνουμε την κωνική φιάλη και αφού φροντίσουμε να διαποτίσει το διάλυμα HCl το δείγμα, αναδεύουμε συνεχώς τη φιάλη με ταυτόχρονο κατέβασμα της χοάνης έτσι ώστε το επίπεδο του υγρού στη χοάνη να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο ή λίγο πιο πάνω από το επίπεδο του υγρού στο σωλήνα. Όταν η στάθμη στο σωλήνα σταθεροποιηθεί, διαβάζουμε την ένδειξη της κλίμακας του σωλήνα. Έστω ότι αυτή είναι A mL.

♦ Υπολογισμοί :

Το σύνολο των ανθρακικών αλάτων που εκφράζονται σε CaCO<sub>3</sub> υπολογίζονται

$$CaCO_3 \% = \left( \frac{A}{B} \right) \cdot 0,0044 \cdot 100$$

ως εξής

όπου :

B : το βάρος του δείγματος σε g.

Το 0,0044 είναι ένας συντελεστής που προκύπτει από την μετατροπή των mL CO<sub>2</sub> σε g CaCO<sub>3</sub> σε θερμοκρασία 0°C και πίεση 760 mmHg. Σε θερμοκρασία δωματίου (20°C) ο συντελεστής αυτός είναι 0,0042. Το 100 προκύπτει από την αναγωγή του τελικού αποτελέσματος σε ποσοστό %.

Σημείωση : Η ανάλυση αυτή γίνεται μόνο σε δείγματα με τιμή pH από 7,0 και μεγαλύτερη.

## 2.6 Ανάλυση κοκκομετρικής σύστασης ( Γ. Βουγιούκου )

- ♦ Αντιδραστήρια : Μεταφωσφορικό Νάτριο (NaPO<sub>3</sub>)<sub>x</sub>. Διάλυμα 5%. (Μέσο διασποράς).
- ♦ Όργανα :
  - Γυάλινοι κύλινδροι Βουγιούκου.
  - Ηλεκτρικός αναδευτήρας πολύστροφος (περίπου 900 στροφές ανά λεπτό).
  - Αναδευτήρας ανατάραξης του δείγματος με το χέρι μέσα στον κύλινδρο.
  - Θερμόμετρο.
  - Ποτήρια ζέσεως γυάλινα 400 mL.

- Ειδικό πυκνόμετρο Βουγιούκου.
- Χρονόμετρο.
- ♦ Διαδικασία :

Ζυγίζονται 50 g ξηρού εδάφους και τοποθετούνται σε ποτήρι ζέσεως 400 mL. Προστίθεται αποσταγμένο νερό έτσι ώστε η στιβάδα του πάνω από την επιφάνεια του δείγματος να έχει πάχος 2-2 cm, και αφήνεται να ηρεμήσει (μέχρι την επόμενη μέρα). Εάν το υπερκείμενο νερό βρεθεί διαυγές, το χύνουμε με προσοχή και το αντικαθιστούμε ανά 24ωρο μέχρι να παραμείνει θολό. Αυτό συμβαίνει στα αλατούχα εδάφη των οποίων τα άλατα επιφέρουν θρόμβωση των κολλοειδών, οπότε με τις παραπάνω εκπλύσεις απομακρύνονται τα άλατα και η κολλοειδής διασπορά παραμένει σταθερή.

Στο ποτήρι προστίθενται 40 mL του διαλύματος του μέσου διασποράς, το περιεχόμενο μεταφέρεται στον ηλεκτρικό αναδευτήρα, αφού έχει συμπληρωθεί με αποσταγμένο νερό μέχρι τελικού όγκου 600 mL περίπου (μέχρι τη χαραγή). Τοποθετείται το δοχείο στη συσκευή ανατάραξης και στερεώνεται κατά τη θέση που σημειώνεται και αναταράσσεται επί 15 ως 30 λεπτά. (Μέσος όρος 20 λεπτά).

Μετά την ανακίνηση το αιώρημα μεταφέρεται σε κύλινδρο Βουγιούκου και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή των 1130 mL. Το αιώρημα αναδεύεται με επανειλημμένες αναστροφές του κυλίνδρου τον οποίο κλείνουμε από πάνω με την παλάμη μας ή αναταράσσουμε με τον ειδικό αναδευτήρα κινώντας τον παλινδρομικά κατά τον άξονα του κυλίνδρου, μέχρι να ομογενοποιηθεί το αιώρημα και αφήνεται σε ηρεμία. Ταυτόχρονα με το χρονόμετρο μετρούμε τον χρόνο από τη στιγμή της έναρξης της ηρεμίας. Μετά από 30 min από την έναρξη της χρονομέτρησης βάζουμε στο υγρό το ειδικό πυκνόμετρο και στα 40 min ακριβώς σημειώνουμε την ένδειξη του πυκνόμετρου στο σημείο που βρίσκεται η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού.

Μετά την πυκνομέτρηση μετράμε και τη θερμοκρασία του υγρού, φροντίζοντας ώστε η εισαγωγή του θερμόμετρου να μην αναταράξει το υγρό. Σε δύο ώρες ακριβώς από την έναρξη της χρονομέτρησης κάνουμε και πάλι πυκνομέτρηση και θερμομέτρηση.

Οι θερμοκρασίες μετατρέπονται στους αντίστοιχους βαθμούς Fahrenheit με τη βοήθεια πινάκων και αν είναι μεγαλύτερες από 67°F προστίθενται στην αντίστοιχη ένδειξη του πυκνόμετρου ανά 0,2 για κάθε βαθμό πάνω από τους 67°F. Αν είναι μικρότερες από αυτήν την τιμή τότε γίνεται αντίστοιχα αφαίρεση.

Υπολογισμοί :

Έστω δείγμα για το οποίο η πρώτη πυκνομέτρηση έδωσε ένδειξη 33,0 σε θερμοκρασία 24 °C και η δεύτερη πυκνομέτρηση 10,0 σε θερμοκρασία 23,4 °C. Οι 24 °C αντιστοιχούν στους 72,5°F δηλαδή 8,2 βαθμούς πάνω από τους 67 και η διόρθωση που πρέπει να γίνει στην ένδειξη του πυκνόμετρου είναι :  $8,2 \cdot 0,2 = 1,6$ . Επομένως η διορθωμένη ένδειξη είναι:  $33,0 + 1,6 = 34,6$ .

Όμοια για τη δεύτερη μέτρηση:  $23,4^{\circ}\text{C} = 74,1^{\circ}\text{F}$ .  $74,1 - 67 = 7,1$ . Έτσι η διόρθωση που πρέπει να γίνει είναι:  $7,1 \cdot 0,2 = 1,42 \approx 1,4$  και η διορθωμένη ένδειξη είναι :  $10,0 + 1,4 = 11,4$ .

Η τελευταία αυτή ένδειξη μας δίνει το κλάσμα της αργίλλου σε 50 g δείγματος και το διπλάσιο είναι 22,8 και μας δίνει το κλάσμα της αργίλλου σε 100 g ξηρού δείγματος.

Το διπλάσιο από την πρώτη μέτρηση (69,2) αν αφαιρεθεί από το 100 δίνει  $100 - 69,2 = 30,8$ . Αυτό είναι το κλάσμα της άμμου σε 100 g ξηρού δείγματος. Τέλος η διαφορά  $69,2 - 22,8 = 46,4$  δίνει το κλάσμα της ιλύος. Έτσι το δείγμα που μόλις αναλύσαμε αποτελείται από: 30,8 % άμμο, 46,4 % ιλύ και 22,8 % άργιλο.

Άμμος θεωρείται το εδαφικό κλάσμα με διάμετρο κόκκων ως 0,02 mm. Ιλύς θεωρείται το εδαφικό κλάσμα με διάμετρο κόκκων από 0,02 ως 0,002 mm και τέλος άργιλος το κλάσμα με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 0,002 mm.

## 2.7 Προσδιορισμός οργανικής ουσίας του εδάφους(Μέθοδος WAEKLEY – BLACK)

♦ Αντιδραστήρια :

1. **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1N**. Ζυγίζουμε 49,03 g από το αντιδραστήριο και το διαλύουμε σε φιάλη 1 L ή 98,06 g σε φιάλη 2 L. Η ποσότητα αυτή είναι το 1/6 του mol της ουσίας, αφού το 1 mol περιέχει 6 gr-eq Cr. Το Cr στην αντίδραση οξειδοαναγωγής μετατρέπεται ως εξής:



2. **FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0,5N**. Ζυγίζουμε 140 g από το αντιδραστήριο και τα τοποθετούμε σε ποτήρι ζέσεως 500 mL. Προσθέτουμε 100 – 150 mL αποσταγμένο νερό και 40 mL πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Ανακατεύουμε καλά με γυάλινη ράβδο και αν χρειαστεί θερμαίνουμε λίγο μέχρι να διαλυθεί εντελώς το στερεό. Αφού διαλυθεί μεταφέρεται σε φιάλη 1 L και συμπληρώνεται η φιάλη μέχρι τη χαραγή με αποσταγμένο νερό. Το διάλυμα πρέπει να διατηρείται σε σκοτεινή φιάλη, προφυλαγμένη από την επίδραση του φωτός, διότι ο σίδηρος είναι εύκολο να οξειδωθεί από την δισθενή στην τρισθενή μορφή του.

3. **Πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (95-97%, d=1,84 Kg/L).**

4. **Δείκτης διφαινυλαμίνη.** Ζυγίζουμε 0,5 g κρυσταλλικής διφαινυλαμίνης και τα διαλύουμε σε 100 ml πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Αφού διαλυθεί το στερεό, μεταφέρουμε το διάλυμα σε ποτήρι που περιέχει ήδη 20 mL αποσταγμένου νερού.
5. **Πυκνό  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (85%,  $d=1,71 \text{ Kg/L}$ ).**

**Αντιστοιχία διαλύματος  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1N προς διάλυμα  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1N.**

Από την εξίσωση:



Συνεπάγεται ότι τα χημικά τους ισοδύναμα των δύο ουσιών, είναι:

$$(\text{mol } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)/6 = 1 \text{ mol } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}.$$

Το 1/6 του mol του διχρωμικού καλίου σχηματίζει διάλυμα 1N. Για το σχηματισμό του διαλύματος 1N του Θεικού σιδήρου όμως, παίρνουμε  $\frac{1}{2}$  mol. Επομένως το διάλυμα διχρωμικού καλίου 1N είναι διπλάσιας δύναμης του διαλύματος Θεικού σιδήρου 1N. Έτσι τα 10 mL διαλύματος διχρωμικού καλίου λαμβάνονται ισοδύναμα με 20 mL διαλύματος θεικού σιδήρου.

♦ **Διαδικασία :**

Ζυγίζουμε ποσότητα 1 g ή 0,5 g ή 0,25 g εδάφους, ανάλογα με την φαινόμενη περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία. Το έδαφος προηγούμενα πρέπει να έχει αεροξηρανθεί και να είναι κοσκινισμένο με κόσκινο των 2 mm.

Βάζουμε το δείγμα σε κωνική φιάλη (Erlenmeyer) των 500 mL και κατόπιν προσθέτουμε 10 mL από το αντιδραστήριο 1 και 20 mL από το αντιδραστήριο 3.

Με την προσθήκη των αντιδραστηρίων αυτών γίνεται η καύση της οργανικής ουσίας του δείγματος. Η αντίδραση υποβοηθείται από την θερμότητα που αναπτύσσεται. Αφήνουμε τα δείγματα σε ηρεμία μέσα σε απαγωγό εστία για μισή ή μία ώρα και κατόπιν προσθέτουμε 200 mL περίπου αποσταγμένο νερό και 10 mL από το αντιδραστήριο 5.

Αφού προσθέσουμε στα δείγματα μερικές σταγόνες δείκτη (αντιδραστήριο 4), ογκομετρούμε το διχρωμικό κάλιο που δεν έχει διασπασθεί. Με την προσθήκη του δείκτη το υγρό της φιάλης χρωματίζεται σκοτεινό καφέ-μαύρο. Με την προσθήκη του θεικού σιδήρου κατά τη διάρκεια της ογκομέτρησης, γίνεται λίγο πριν από το ισοδύναμο σημείο, βαθύ μπλε και τελικά το ισοδύναμο σημείο φαίνεται από τον χρωματισμό του διαλύματος με ένα βαθύ πράσινο χρώμα.

♦ **Υπολογισμοί :**

Σημειώνουμε τα καταναλωθέντα mL του διαλύματος θειικού σιδήρου. Έστω ότι είναι  $V_1$  mL. Κάθε φορά που κάνουμε μέτρηση διενεργούμε μια τυφλή δοκιμή (λευκό δείγμα). Το δείγμα αυτό γίνεται βάζοντας στην κωνική φιάλη όλα τα αντιδραστήρια, όπως κάνουμε και για κάθε δείγμα, εκτός από την ποσότητα του εδάφους. Έτσι γνωρίζουμε ότι το «λευκό» δεν περιέχει καθόλου οργανική ουσία. Δηλαδή στο δείγμα αυτό περιέχεται ολόκληρη η ποσότητα του διχρωμικού καλίου. Ογκομετρούμε και αυτό το δείγμα με τον ίδιο δείκτη και έστω ότι καταναλώνουμε  $V_0$  mL διαλύματος θειικού σιδήρου.

Με βάση την παραπάνω ογκομέτρηση υπολογίζουμε το % ποσοστό του C στο έδαφος, με τη βοήθεια της σχέσης :

$$(\%C)_{\text{ε g}} = 10 \cdot \left(1 - \frac{V_1}{V_0}\right) \cdot \left(\frac{0,3 \cdot f}{m}\right)$$

όπου :

$f$  : συντελεστής που αναφέρεται στο % ποσοστό του άνθρακα που οξειδώνεται με τη μέθοδο αυτή. Δεχόμαστε ότι κατά μέσο όρο το ποσοστό αυτό είναι 77%. Έτσι τελικά, όταν πρόκειται για ψυχρή οξείδωση ο συντελεστής αυτός είναι  $f = 1,3$ .

0,3 : συντελεστής μετατροπής 1 mL διαλύματος  $K_2Cr_2O_7$  σε άνθρακα

$m$  = το βάρος του δείγματος.

Έτσι αν έχουμε όπως συνήθως ζυγίσει 1 g δείγματος η παραπάνω σχέση διαμορφώνεται ως εξής :

$$(\%C)_{\text{ε g}} = \frac{10}{V_0} \cdot (V_0 - V_1) \cdot 0,39$$

Για να βρούμε τελικά το % ποσοστό της οργανικής ουσίας του εδάφους που ήταν και ο πρωταρχικός στόχος μας, θα πρέπει να υπολογίσουμε ότι στην οργανική ουσία του εδάφους ο άνθρακας είναι κατά μέσο όρο το 58%. Έτσι το παραπάνω ποσοστό του %C θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον συντελεστή  $(100/58)=1,724$ .

Έτσι τελικά ο τύπος με τον οποίο θα υπολογίζουμε την οργανική ουσία του εδάφους με βάση την ογκομέτρηση που πραγματοποιήσαμε, είναι ο παρακάτω :

$$(\% \text{орг. ουσία})_{\text{ε g}} = \frac{10}{V_0} \cdot (V_0 - V_1) \cdot 0,39 \cdot 1,724 = \frac{10}{V_0} \cdot (V_0 - V_1) \cdot 0,67$$

## 2.8 Προσδιορισμός ιχνοστοιχείων εδάφους (Μέθοδος εκχύλισης με διάλυμα DTPA)

### ♦ Αντιδραστήρια :

**Διάλυμα DTPA.** Ζυγίζουμε 14.92 g triaithanolamin (TEA), 1,97 g DTPA (διαιθυλενο-τριαμινο-πενταοξικό οξύ) και 1,11 g  $\text{CaCl}_2$  και τα διαλύουμε σε 900 mL αποσταγμένου νερού. Ρυθμίζουμε το pH του διαλύματος στο 7,3 με προσθήκη περίπου 12,5 mL/L διαλύματος HCl (1:2). (Εναλλακτικά : 29,84 g TEA, 3,94 g DTPA, 2,22 g  $\text{CaCl}_2$  σε 2 L, ή 74,6 g TEA, 9,85 g DTPA, 5,55 g  $\text{CaCl}_2$  σε 5 L)

♦ **Διαδικασία :**

Ζυγίζουμε από 10 ως 20 g εδαφικού δείγματος και το τοποθετούμε σε πλαστική φιάλη των 100 mL. Προσθέτουμε στη συνέχεια στη φιάλη διπλάσια mL από τα g του δείγματος από το διάλυμα DTPA. Ανακινούμε για 2 ώρες, φυγοκεντρούμε στις 2500 r/min για 5 min και διηθούμε. Στα διηθήματα μετράμε την περιεκτικότητα των στοιχείων Fe, Cu, Mn, Zn στην ατομική απορρόφηση.

## **2.9 Δημιουργία θεματικών χαρτών**

Ως πρωτογενές υλικό χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:50.000, από τους οποίους ψηφιοποιήθηκαν :

- Οι ισοϋψείς καμπύλες, με ισοδιάσταση 100m
- Υψομετρικά σημεία
- Το οδικό δίκτυο
- Οι κατοικημένες περιοχές
- Το σιδηροδρομικό δίκτυο
- Το υδρογραφικό δίκτυο

Επιπλέον από το Ινστιτούτο Συστημάτων Ψηφιακής Τεχνολογίας και Αγροτικής Πληροφορικής μας παραχωρήθηκαν οι ορθοφωτοχάρτες της περιοχής δειγματοληψίας.

Τέλος από το πανεπιστήμιο του Maryland και συγκεκριμένα από το τμήμα τηλεπισκόπησης μας παραχωρήθηκαν δορυφορικές εικόνες της περιοχής του δορυφόρου ETM+ με διακριτική ικανότητα τα 15m.

Από απόψεως λογισμικού για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής :

1. ArcView 3.2 της εταιρείας ESRI με τις 'επεκτάσεις - extensions' του προγράμματος
  - Spatial Analyst



- 3D Analyst
  - Image Analyst
2. ArcGis 8.3(Arc/Info) της εταιρείας ESRI
  3. Imagine 8.7 της εταιρείας ERDAS
  4. ENVI της εταιρείας RSI

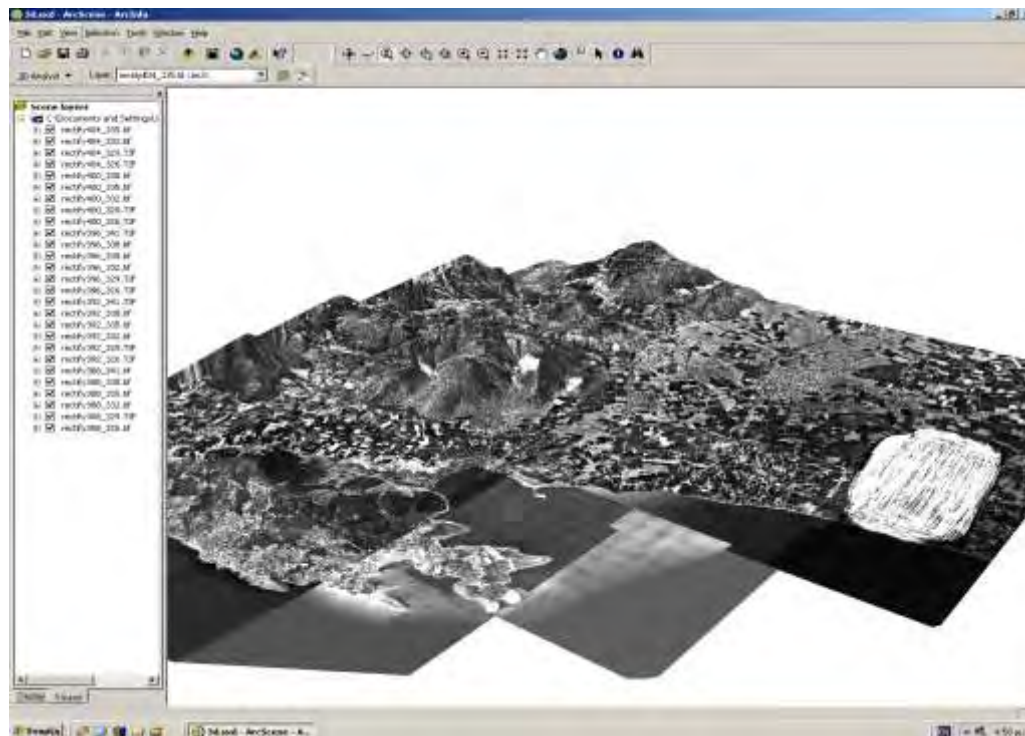
## 2.10 Εφαρμογή του ArcGIS v. 8.3 Desktop

Πρόκειται για εργαλείο-κλειδί στο ArcGIS καθώς παρέχει λειτουργικότητα στη διαχείριση και επεξεργασία των χαρτών. Μια άποψη αυτού διακρίνεται στην εικόνα 18.

Το ArcGIS 8.3 desktop είναι ένα σύνολο αλληλένδετων λογισμικών με το ίδιο υπόβαθρο και προφίλ. Στην εικόνα 19 διαπιστώνεται ο τρόπος με τον οποίο το ArcGIS δομείται κλιμακωτά.

Χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα τέσσερις εφαρμογές του ArcGIS :

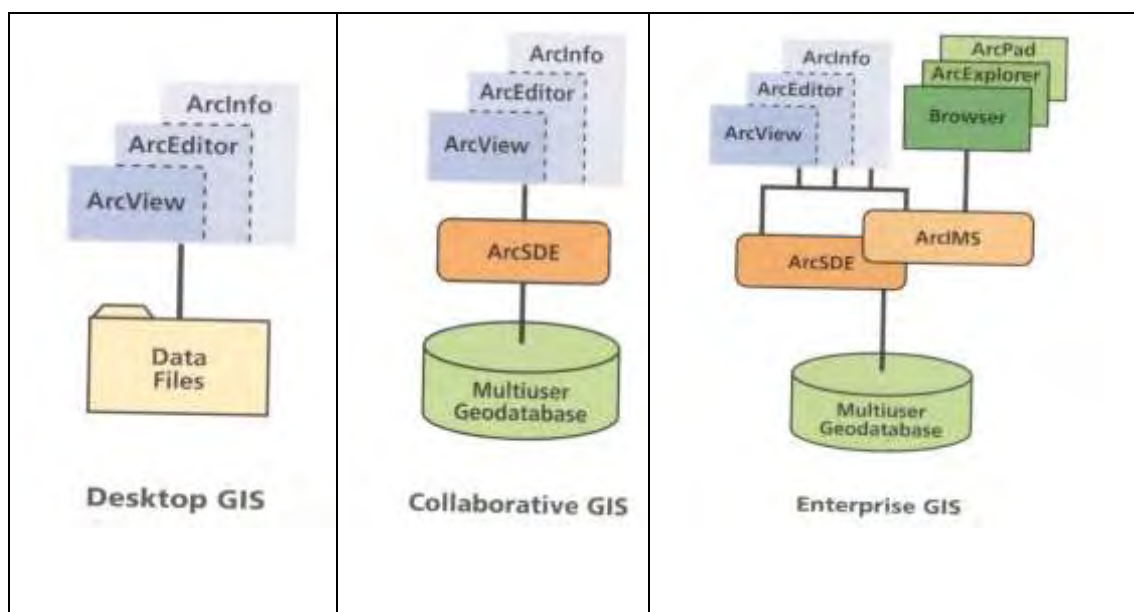
- Arc Catalog
- Arc Map
- Arc Toolbox
- Arc Scene



**Εικόνα 18** Τρισδιάστατη απεικόνιση του Αλμυρού με ArcScene.

Με τον Arc Catalog δομήθηκε η γεωγραφική βάση δεδομένων και έγινε διαχείριση των αποτελεσμάτων από τις αναλύσεις των εδαφικών παραμέτρων: pH, CaCO<sub>3</sub>, της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία, της μηχανικής σύστασης και της περιεκτικότητας του εδάφους σε ιχνοστοιχεία (Mg, Cd, Zn, Fe, Cu, Pb).

### ArcGIS is Scalable



**Εικόνα 19** Δόμηση του ArcGIS.

Προκειμένου να παρουσιαστούν, να προστεθούν και να απορριφθούν δεδομένα καθώς και για να απεικονιστούν οι τελικές μορφές των χαρτών και να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των χαρακτηριστικών τους, εφαρμόστηκε το Arc Map. Το Arc Toolbox χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή των δεδομένων και την προβολή αυτών, στο ελληνικό σύστημα προβολής “ **ΕΓΣΑ 87** ”.

Έτσι, τα επίπεδα των χαρτών που είχαν ψηφιοποιηθεί, προβλήθηκαν στο επίπεδο της γήινης επιφάνειας και έγινε εφικτή η μετέπειτα σωστή και ολοκληρωμένη διαχείριση των δεδομένων.

Πραγματοποιήθηκε η δόμηση της βάσεως δεδομένων σε Microsoft Access εισάγοντας τις τιμές των εδαφικών παραμέτρων: pH, CaCO<sub>3</sub>, της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία, της μηχανικής σύστασης και της περιεκτικότητας του εδάφους σε ιχνοστοιχεία (Mg, Cd, Zn, Fe, Cu, Pb). Αφού ολοκληρώθηκε η γεωγραφική βάση δεδομένων, εφαρμόστηκε το πρότυπο (module) ArcGIS Geostatistical Analyst προκειμένου να αναλυθούν και να προβλεφθούν οι άγνωστες τιμές των εδαφικών

παραμέτρων στις θέσεις όπου δεν έγινε δειγματοληψία, με βάση τη γεωστατιστική ανάλυση από τις ήδη γνωστές τιμές των ανωτέρω στα σημεία δειγματοληψίας.

## **2.11 Εξέταση της χωρικής μεταβλητότητας των δεδομένων**

### **Ιστόγραμμα**

Οι μέθοδοι χωρικής μεταβλητότητας που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν μια επιφάνεια, δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα μόνο εάν τα δεδομένα ακολουθούν κανονική κατανομή (καμπύλη του Gauss). Σε αρκετές περιπτώσεις που οι τιμές των μεταβλητών εξετάστηκαν δεν ακολουθούσαν κανονική κατανομή, κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μετατροπή (transform : log, Box-Cox) των τιμών των δεδομένων έτσι ώστε να προσομοιάζουν με την κανονική κατανομή.

### **Normal QQPlot**

Το εργαλείο αυτό της Γεωστατιστικής, εφαρμόστηκε προκειμένου να γίνει σύγκριση της διασποράς των δεδομένων και της τυπικής απόκλισης αυτών από την κανονική κατανομή ως ένας επιπλέον δείκτης της κανονικότητας των δεδομένων. Όσο πιο κοντά στην γραμμή βρίσκονταν τα σημεία, τόσο περισσότερο προσέγγιζε η διασπορά τους την κανονική.

### **Cross Validation**

Με τη βοήθεια της Cross Validation μπορεί να διαπιστωθεί εάν ένα πρότυπο προβλέπει ικανοποιητικά τις άγνωστες τιμές. Για όλα τα σημεία, η Cross Validation επιλέγει ένα σημείο, προβλέπει την τιμή αυτού χρησιμοποιώντας τα υπόλοιπα δεδομένα και κατόπιν συγκρίνει τις τιμές που έχουν μετρηθεί και αυτές που έχουν προβλεφθεί.

Το πιο σημαντικό αντικείμενο της αξιολόγησης αυτής είναι η δυνατότητα που παρέχει στο χρήστη να αποφασίσει ποιο πρότυπο δίνει τις πιο ακριβείς προβλέψεις.

Η επιλογή του καταλληλότερου προτύπου πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα :

1. Η τιμή του μέσου όρου να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην τιμή 0,
2. Η τιμή της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (root-mean-square-error) και του μέσου τυπικού σφάλματος (average standard

error) να είναι όσο το δυνατόν μικρές και να έχουν μικρή μεταξύ τους απόκλιση και

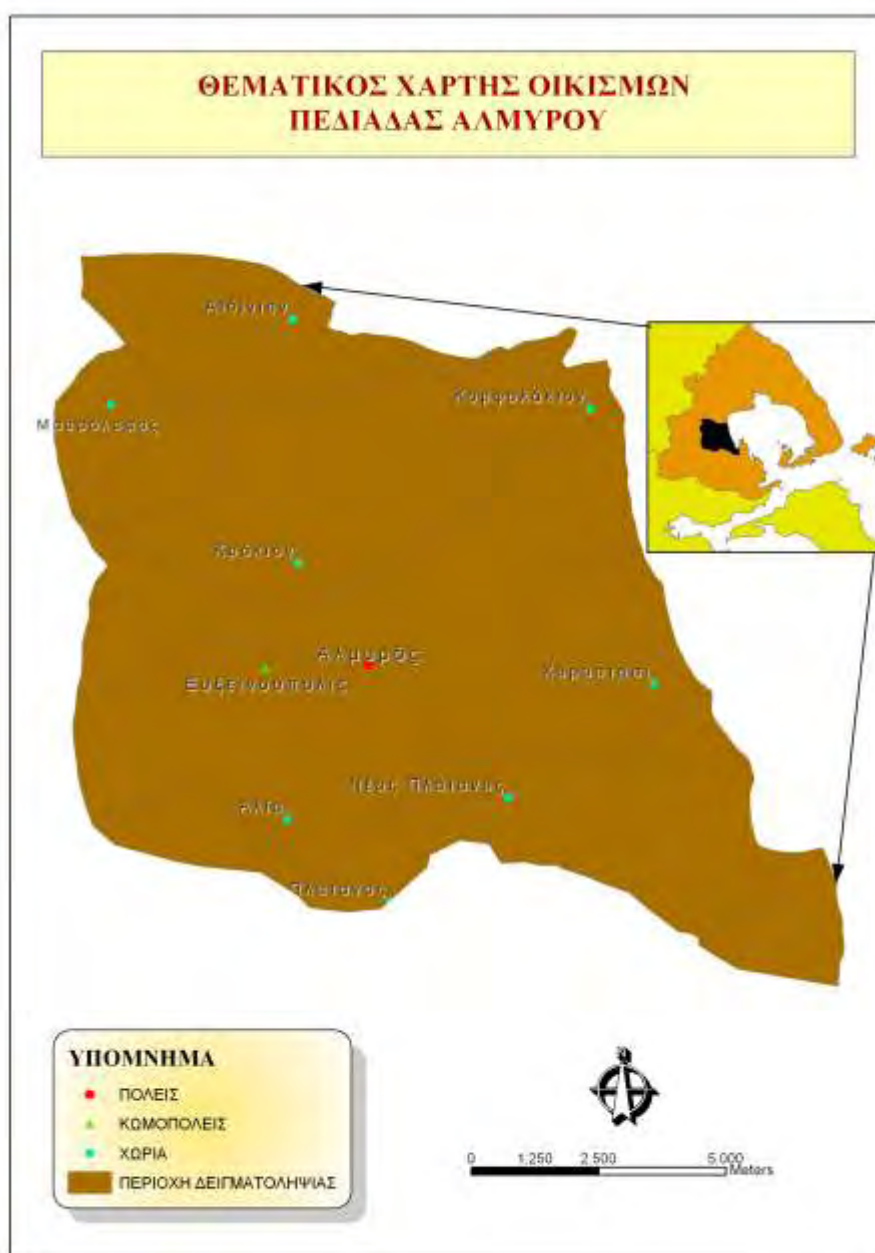
3. Η τιμή της τυποποιημένης τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (root-mean-square-standardized-error) να είναι κοντά στην τιμή 1.

### 3.1. Αποτελέσματα

Από τις προηγούμενες διαδικασίες και μεθόδους προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Τα αποτελέσματα ανάλυσης των 135 δειγμάτων βρίσκονται στο πίνακα 10.

Το υδρογραφικό δίκτυο, το οδικό δίκτυο, οι οικισμοί, και οι ισοϋψείς καμπύλες με ισοδιάσταση 100 m της περιοχής Αλμυρού. (εικόνες 20, 21, 22, 23, 24),



**Εικόνα 20.** Θεματικός χάρτης οικισμών πεδιάδας Αλμυρού

**Πίνακας 10. Αποτελέσματα αναλύσεων**

| A/A | x      | y       | pH  | CaCO <sub>3</sub> | Άμμος | Ιλύς  | Άργιλος | Χαρακτηρισμός<br>έδαφους | Οργανική<br>ουσία | Cu    | Mn    | Fe    | Pb   | Zn    |
|-----|--------|---------|-----|-------------------|-------|-------|---------|--------------------------|-------------------|-------|-------|-------|------|-------|
| 1   | 391490 | 4341712 | 7,1 | 0,44              | 40,16 | 13,28 | 46,56   | clay                     | 0,8               | 1,62  | 13,74 | 6,36  | 0,56 | 8,20  |
| 2   | 390311 | 4341612 | 6,1 | 0                 | 54,24 | 23,20 | 22,56   | sandy clay loam          | 0,7               | 3,22  | 45,74 | 24,70 | 0,32 | 4,20  |
| 3   | 389868 | 4341401 | 6,6 | 0                 | 40,16 | 19,28 | 40,56   | clay                     | 1,37              | 0,94  | 27,50 | 13,42 | 0,88 | 1,08  |
| 4   | 389321 | 4341813 | 7,8 | 4,84              | 26,96 | 21,92 | 51,12   | clay                     | 1,51              | 0,96  | 6,58  | 4,28  | 0,76 | 3,66  |
| 5   | 388388 | 4341962 | 7,2 | 0,44              | 42,24 | 25,20 | 32,56   | clay loam                | 1,17              | 0,96  | 9,74  | 5,50  | 0,78 | 3,46  |
| 6   | 388022 | 4342965 | 7,9 | 15,4              | 44,24 | 21,20 | 34,56   | clay loam                | 2,18              | 0,68  | 10,40 | 3,44  | 0,50 | 0,26  |
| 7   | 388260 | 4343760 | 7,8 | 6,16              | 38,24 | 17,20 | 44,56   | clay                     | 1,24              | 1,10  | 15,14 | 5,14  | 0,36 | 2,76  |
| 8   | 389889 | 4343754 | 7,7 | 0,88              | 36,88 | 19,36 | 43,76   | clay                     | 0,6               | 1,00  | 20,40 | 3,96  | 0,02 | 3,38  |
| 9   | 390593 | 4343322 | 7,6 | 1,76              | 34,96 | 21,92 | 43,12   | clay                     | 2,03              | 2,25  | 8,88  | 5,62  | 0,94 | 9,44  |
| 10  | 389248 | 4342371 | 7,5 | 0,44              | 36,88 | 19,84 | 43,28   | clay                     | 1,71              | 1,06  | 23,06 | 6,74  | 0,72 | 1,12  |
| 11  | 390869 | 4342662 | 7,7 | 1,32              | 36,16 | 15,28 | 48,56   | clay                     | 1,14              | 1,02  | 5,08  | 4,02  | 0,88 | 1,16  |
| 12  | 391975 | 4342286 | 7,8 | 6,6               | 48,24 | 15,20 | 36,56   | sandy clay               | 1,61              | 4,20  | 6,30  | 4,98  | 0,56 | 2,28  |
| 13  | 391550 | 4343188 | 6,8 | 0                 | 59,60 | 18,56 | 21,84   | sandy clay loam          | 2,75              | 18,92 | 43,86 | 15,48 | 1,20 | 3,04  |
| 14  | 391309 | 4343816 | 7,8 | 0,44              | 48,16 | 25,28 | 26,56   | sandy clay loam          | 1,98              | 3,46  | 6,98  | 3,04  | 0,58 | 0,82  |
| 15  | 391845 | 4343498 | 7,6 | 2,12              | 46,43 | 19,49 | 34,08   | sandy clay loam          | 2,01              | 3,96  | 10,11 | 10,24 | 0,92 | 2,01  |
| 16  | 396388 | 4343586 | 7,9 | 2,42              | 44,88 | 17,84 | 37,28   | clay loam                | 2,04              | 1,34  | 4,66  | 1,92  | 0,74 | 2,28  |
| 17  | 395070 | 4343485 | 7,8 | 8,8               | 48,95 | 19,86 | 31,19   | sandy clay loam          | 1,47              | 2,22  | 7,18  | 4,52  | 1,00 | 68,40 |
| 18  | 394045 | 4343460 | 7,7 | 6,6               | 56,16 | 25,28 | 18,56   | sandy loam               | 2,24              | 9,96  | 7,22  | 5,14  | 0,98 | 2,02  |
| 19  | 393520 | 4343367 | 8   | 8,36              | 58,96 | 21,92 | 19,12   | sandy loam               | 1,14              | 12,16 | 5,90  | 5,54  | 0,22 | 1,18  |
| 20  | 392959 | 4342905 | 7,2 | 0,88              | 38,24 | 19,20 | 42,56   | clay                     | 0,77              | 1,14  | 8,86  | 8,72  | 1,14 | 6,52  |
| 21  | 392251 | 4342304 | 7,8 | 2,2               | 38,88 | 15,84 | 45,28   | clay                     | 1,47              | 1,24  | 4,80  | 5,02  | 0,76 | 4,06  |
| 22  | 392693 | 4341640 | 7,8 | 0                 | 49,18 | 18,36 | 32,46   | sandy clay loam          | 1,01              | 2,18  | 22,41 | 7,52  | 0,72 | 15,78 |
| 23  | 392407 | 4341053 | 7   | 0,88              | 54,16 | 17,28 | 28,56   | sandy clay loam          | 0,94              | 1,38  | 28,32 | 12,66 | 0,30 | 3,02  |
| 24  | 391466 | 4338347 | 6,3 | 0                 | 54,88 | 19,28 | 25,84   | sandy clay loam          | 1,14              | 1,96  | 38,54 | 19,34 | 0,30 | 1,22  |
| 25  | 391402 | 4339245 | 7,1 | 0,22              | 52,06 | 20,44 | 27,50   | sandy clay loam          | 0,5               | 0,92  | 20,10 | 6,16  | 0,24 | 0,98  |
| 26  | 391334 | 4340650 | 6   | 0                 | 58,16 | 21,28 | 20,56   | sandy clay loam          | 0,97              | 1,30  | 46,56 | 31,32 | 0,10 | 0,88  |
| 27  | 390333 | 4340399 | 6,7 | 0                 | 48,31 | 20,20 | 31,49   | sandy clay loam          | 1,05              | 1,78  | 35,21 | 22,12 | 0,72 | 4,41  |
| 28  | 389377 | 4340238 | 6,8 | 0                 | 47,45 | 20,33 | 32,22   | sandy clay loam          | 1,07              | 1,72  | 39,22 | 10,24 | 0,88 | 2,78  |

| A/A | x      | y       | pH  | CaCO <sub>3</sub> | Άμμος | Ιλύς  | Άργιλος | Χαρακτηρισμός<br>έδαφους | Οργανική<br>ουσία | Cu    | Mn     | Fe    | Pb   | Zn    |
|-----|--------|---------|-----|-------------------|-------|-------|---------|--------------------------|-------------------|-------|--------|-------|------|-------|
| 29  | 388480 | 4340042 | 7   | 0,44              | 46,43 | 21,57 | 32,00   | clay loam                | 1,31              | 1,82  | 10,11  | 10,56 | 0,94 | 3,31  |
| 30  | 389151 | 4339653 | 7,2 | 0,88              | 46,16 | 17,28 | 36,56   | clay loam                | 1,04              | 0,76  | 32,68  | 5,66  | 0,60 | 0,82  |
| 31  | 389752 | 4338759 | 6,7 | 0                 | 56,24 | 17,20 | 26,56   | sandy clay loam          | 0,64              | 0,98  | 21,50  | 8,28  | 0,02 | 4,26  |
| 32  | 388535 | 4339054 | 4,5 | 0                 | 48,88 | 25,84 | 25,28   | sandy clay loam          | 0,84              | 1,56  | 137,82 | 24,68 | 0,36 | 1,24  |
| 33  | 388860 | 4338420 | 4,3 | 0                 | 58,16 | 23,28 | 18,56   | sandy loam               | 1,34              | 11,90 | 193,86 | 51,68 | 0,50 | 4,00  |
| 34  | 390459 | 4338290 | 5,2 | 0                 | 44,24 | 27,20 | 28,56   | clay loam                | 2,38              | 1,93  | 166,08 | 38,46 | 0,12 | 2,04  |
| 35  | 390700 | 4339537 | 7,3 | 0,44              | 52,88 | 21,36 | 25,76   | sandy clay loam          | 0,7               | 2,92  | 22,46  | 6,70  | 0,02 | 20,24 |
| 36  | 392351 | 4340446 | 5,7 | 0                 | 56,24 | 7,20  | 36,56   | sandy clay               | 1,24              | 1,74  | 89,22  | 33,24 | 0,40 | 1,80  |
| 37  | 392789 | 4338899 | 7   | 0                 | 54,24 | 23,20 | 22,56   | sandy clay loam          | 0,77              | 1,44  | 21,28  | 8,22  | 0,18 | 4,30  |
| 38  | 393276 | 4340153 | 7,6 | 0,44              | 45,60 | 22,56 | 31,84   | clay loam                | 0,97              | 1,34  | 15,72  | 5,32  | 0,40 | 2,22  |
| 39  | 395315 | 4340017 | 6,7 | 0                 | 54,88 | 19,28 | 25,84   | sandy clay loam          | 1,04              | 1,08  | 24,12  | 14,28 | 0,32 | 1,24  |
| 40  | 395785 | 4339091 | 7,3 | 0,44              | 49,75 | 20,44 | 29,81   | sandy clay loam          | 1,8               | 7,40  | 16,06  | 9,27  | 0,52 | 3,21  |
| 41  | 395074 | 4338478 | 6,7 | 0                 | 49,60 | 28,40 | 22,00   | sandy clay loam          | 1,27              | 2,46  | 17,36  | 10,72 | 0,68 | 2,00  |
| 42  | 394427 | 4338173 | 6,7 | 0                 | 49,60 | 20,56 | 29,84   | sandy clay loam          | 0,8               | 2,68  | 10,76  | 9,26  | 0,34 | 1,82  |
| 43  | 394048 | 4338825 | 6,2 | 0                 | 56,24 | 21,20 | 22,56   | sandy clay loam          | 1,88              | 1,80  | 25,36  | 15,94 | 0,02 | 6,60  |
| 44  | 394229 | 4339607 | 7   | 0,88              | 46,24 | 17,20 | 36,56   | clay loam                | 1,11              | 1,32  | 18,12  | 9,32  | 0,54 | 2,32  |
| 45  | 394965 | 4339376 | 6,8 | 0                 | 54,24 | 15,20 | 30,56   | sandy clay loam          | 1,31              | 1,00  | 27,42  | 11,50 | 0,36 | 1,30  |
| 46  | 395756 | 4339689 | 7,8 | 0,66              | 46,88 | 19,36 | 33,76   | sandy clay loam          | 1,27              | 9,32  | 14,54  | 8,92  | 0,16 | 2,16  |
| 47  | 396646 | 4339959 | 7,6 | 2,5               | 49,90 | 21,83 | 28,27   | sandy clay loam          | 1,5               | 3,21  | 12,20  | 8,02  | 0,44 | 4,20  |
| 48  | 397497 | 4340699 | 7,8 | 1,76              | 54,16 | 23,28 | 22,56   | sandy clay loam          | 1,04              | 3,52  | 6,70   | 5,10  | 0,02 | 0,92  |
| 49  | 397715 | 4339514 | 7,8 | 9,02              | 40,96 | 31,92 | 27,12   | loam                     | 1,84              | 3,36  | 6,50   | 5,26  | 0,40 | 3,38  |
| 50  | 397173 | 4339127 | 7,9 | 4,4               | 36,88 | 13,84 | 49,28   | clay                     | 1,61              | 2,12  | 4,92   | 4,96  | 0,48 | 1,02  |
| 51  | 396586 | 4338288 | 6,9 | 0                 | 49,36 | 22,40 | 28,24   | sandy clay loam          | 1,37              | 2,57  | 12,83  | 9,53  | 0,67 | 4,91  |
| 52  | 398043 | 4338450 | 7,9 | 2,5               | 48,97 | 23,73 | 27,30   | sandy clay loam          | 1,55              | 4,27  | 11,09  | 7,54  | 2,21 | 6,49  |
| 53  | 398453 | 4338668 | 7,7 | 5,28              | 46,16 | 25,28 | 28,56   | clay                     | 2,04              | 5,16  | 11,04  | 6,98  | 2,34 | 4,22  |
| 54  | 388282 | 4337844 | 4,9 | 0                 | 52,88 | 23,28 | 23,84   | sandy clay loam          | 1,21              | 3,96  | 88,42  | 33,90 | 0,42 | 3,92  |
| 55  | 389696 | 4337669 | 7,2 | 0,44              | 52,16 | 21,28 | 26,56   | sandy clay loam          | 1,34              | 2,30  | 18,46  | 11,28 | 0,02 | 1,46  |
| 56  | 389889 | 4337336 | 5,2 | 0                 | 54,16 | 25,28 | 20,56   | sandy clay loam          | 1,14              | 0,96  | 57,72  | 26,30 | 0,20 | 0,92  |



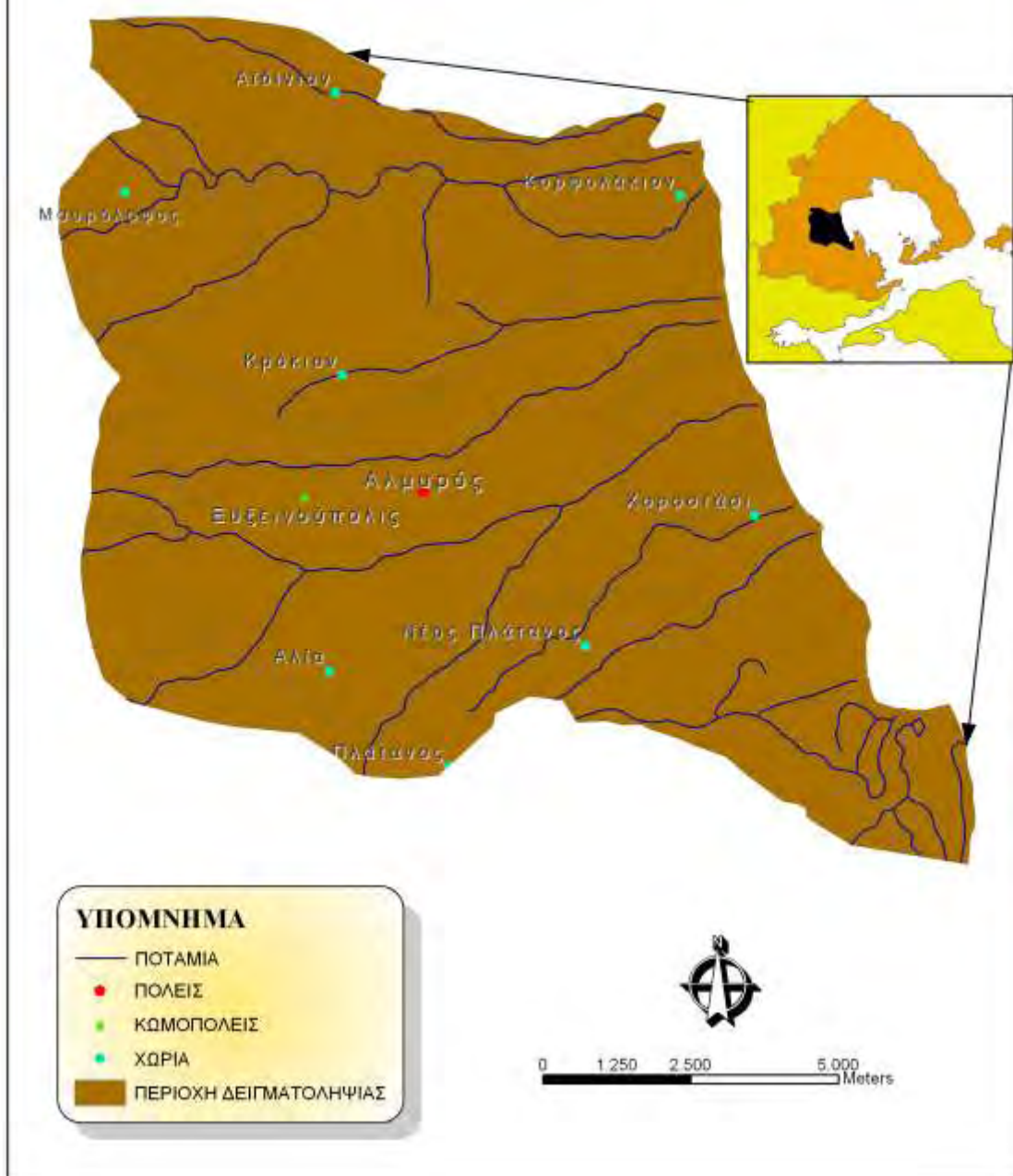
| A/A | x      | y       | pH  | CaCO <sub>3</sub> | Άμμος | Ιλύς  | Άργιλος | Χαρακτηρισμός<br>έδαφους | Οργανική<br>ουσία | Cu   | Mn    | Fe    | Pb   | Zn    |
|-----|--------|---------|-----|-------------------|-------|-------|---------|--------------------------|-------------------|------|-------|-------|------|-------|
| 57  | 389199 | 4337163 | 6,7 | 0                 | 58,16 | 19,28 | 22,56   | sandy clay loam          | 1,94              | 2,06 | 31,50 | 17,26 | 0,14 | 1,36  |
| 58  | 388369 | 4336841 | 6,6 | 0                 | 52,24 | 19,20 | 28,56   | sandy clay loam          | 0,9               | 1,24 | 27,68 | 13,00 | 0,82 | 72,86 |
| 59  | 388105 | 4336107 | 7,8 | 2,42              | 46,88 | 9,84  | 43,28   | sandy clay               | 1,74              | 1,40 | 4,26  | 5,32  | 1,06 | 1,36  |
| 60  | 390720 | 4336780 | 5,8 | 0                 | 52,88 | 33,36 | 13,76   | loam                     | 1,17              | 1,66 | 50,28 | 31,68 | 0,22 | 8,08  |
| 61  | 389882 | 4336269 | 7,9 | 25,08             | 46,24 | 21,20 | 32,56   | clay loam                | 1,84              | 0,50 | 5,90  | 2,62  | 0,94 | 5,04  |
| 62  | 389028 | 4335845 | 8   | 14,52             | 54,16 | 11,28 | 34,56   | sandy clay loam          | 1,71              | 1,53 | 5,24  | 4,06  | 0,58 | 0,70  |
| 63  | 388513 | 4335483 | 7,9 | 12,32             | 38,88 | 15,84 | 45,28   | clay                     | 1,31              | 1,14 | 4,46  | 2,78  | 0,74 | 2,98  |
| 64  | 389350 | 4335390 | 8,1 | 27,28             | 44,88 | 21,36 | 33,76   | clay loam                | 1,64              | 0,84 | 3,88  | 2,50  | 0,88 | 3,30  |
| 65  | 390106 | 4335361 | 7,8 | 0,88              | 42,16 | 23,28 | 34,56   | clay                     | 2,24              | 1,82 | 8,62  | 10,24 | 0,96 | 2,34  |
| 66  | 390879 | 4335904 | 7,6 | 1,54              | 42,16 | 21,28 | 36,56   | clay loam                | 1,41              | 1,96 | 15,48 | 9,42  | 0,64 | 3,68  |
| 67  | 391597 | 4335212 | 8,1 | 13,2              | 42,88 | 19,36 | 37,76   | clay loam                | 1,01              | 1,28 | 7,16  | 3,54  | 0,54 | 2,86  |
| 68  | 391544 | 4335931 | 7,8 | 21,78             | 46,96 | 23,92 | 29,12   | sandy clay loam          | 2,24              | 1,66 | 5,70  | 3,96  | 0,50 | 4,84  |
| 69  | 391604 | 4336270 | 8   | 5,28              | 46,24 | 25,20 | 28,56   | sandy clay loam          | 1,71              | 1,42 | 13,08 | 5,38  | 0,64 | 1,52  |
| 70  | 391547 | 4336859 | 6,9 | 0                 | 49,23 | 21,28 | 29,49   | sandy clay loam          | 1,52              | 1,65 | 20,26 | 12,68 | 0,48 | 2,93  |
| 71  | 393959 | 4337570 | 7,7 | 1,1               | 54,88 | 13,28 | 31,84   | sandy clay loam          | 1,51              | 2,64 | 7,98  | 7,16  | 0,52 | 4,60  |
| 72  | 394265 | 4337015 | 7,8 | 2,2               | 52,88 | 13,28 | 33,84   | sandy clay loam          | 1,37              | 1,12 | 7,60  | 5,40  | 1,06 | 4,06  |
| 73  | 393024 | 4336362 | 7,9 | 7                 | 48,90 | 20,53 | 30,57   | sandy clay loam          | 1,44              | 1,99 | 17,27 | 9,45  | 0,62 | 2,01  |
| 74  | 392704 | 4335774 | 8,2 | 12,76             | 28,88 | 25,84 | 45,28   | clay                     | 2,14              | 0,76 | 2,54  | 2,80  | 0,68 | 1,24  |
| 75  | 392512 | 4335286 | 7,9 | 19,36             | 44,88 | 11,28 | 43,84   | sandy clay               | 1,51              | 4,88 | 4,96  | 2,48  | 0,90 | 1,50  |
| 76  | 393523 | 4335831 | 6,7 | 0                 | 52,88 | 19,28 | 27,84   | sandy clay loam          | 1,51              | 0,94 | 32,48 | 3,45  | 0,94 | 1,52  |
| 77  | 393550 | 4335320 | 7,3 | 6,2               | 49,68 | 19,32 | 31,00   | sandy clay loam          | 1,65              | 1,92 | 9,25  | 7,45  | 0,70 | 4,50  |
| 78  | 394036 | 4336419 | 5,7 | 0                 | 54,88 | 19,84 | 25,28   | sandy clay loam          | 1,21              | 1,88 | 69,30 | 20,00 | 1,02 | 1,10  |
| 79  | 394109 | 4335580 | 6,9 | 0,001             | 54,88 | 19,28 | 25,84   | sandy clay loam          | 1,17              | 1,40 | 18,62 | 10,16 | 0,50 | 15,98 |
| 80  | 393891 | 4335081 | 7,8 | 1,32              | 44,96 | 25,92 | 29,12   | clay loam                | 1,21              | 2,05 | 7,29  | 6,44  | 0,68 | 4,17  |
| 81  | 388309 | 4335006 | 7,9 | 23,32             | 38,96 | 29,92 | 31,12   | clay loam                | 1,78              | 1,54 | 5,18  | 3,58  | 0,36 | 3,32  |
| 82  | 389802 | 4334337 | 8,1 | 17,24             | 46,78 | 20,62 | 32,60   | sandy clay loam          | 1,47              | 1,31 | 6,50  | 4,98  | 0,65 | 3,22  |
| 83  | 390877 | 4334464 | 8,1 | 23,12             | 47,00 | 20,29 | 32,71   | sandy clay loam          | 1,52              | 0,92 | 7,12  | 5,21  | 0,72 | 3,02  |
| 84  | 391705 | 4333889 | 8,9 | 40,92             | 58,88 | 25,28 | 15,84   | sandy loam               | 1,11              | 0,44 | 2,74  | 2,16  | 0,10 | 5,14  |



| A/A | x      | y       | pH  | CaCO <sub>3</sub> | Άμμος | Ιλύς  | Άργιλος | Χαρακτηρισμός<br>έδαφους | Οργανική<br>ουσία | Cu   | Mn    | Fe    | Pb   | Zn    |
|-----|--------|---------|-----|-------------------|-------|-------|---------|--------------------------|-------------------|------|-------|-------|------|-------|
| 85  | 392702 | 4333350 | 7,9 | 1,98              | 60,96 | 21,92 | 17,12   | sandy loam               | 1,47              | 1,64 | 3,18  | 6,24  | 0,76 | 3,08  |
| 86  | 392888 | 4334201 | 7,7 | 2,86              | 57,60 | 16,56 | 25,84   | sandy clay loam          | 2,38              | 1,32 | 3,42  | 2,82  | 0,82 | 5,16  |
| 87  | 393471 | 4334530 | 7,8 | 18,26             | 50,96 | 17,92 | 31,12   | sandy clay loam          | 3,55              | 8,42 | 8,96  | 3,26  | 0,54 | 5,82  |
| 88  | 394032 | 4334950 | 7,9 | 2,1               | 48,91 | 19,12 | 31,97   | sandy clay loam          | 1,57              | 2,21 | 8,21  | 7,22  | 0,71 | 4,08  |
| 89  | 395497 | 4335693 | 6,6 | 0                 | 48,88 | 17,28 | 33,84   | sandy clay loam          | 1,17              | 0,94 | 23,26 | 10,54 | 0,54 | 1,94  |
| 90  | 395136 | 4336424 | 7,7 | 0,88              | 48,88 | 21,36 | 29,76   | sandy clay loam          | 1,17              | 1,20 | 15,00 | 6,14  | 0,20 | 4,10  |
| 91  | 395418 | 4337162 | 7,3 | 0,44              | 51,26 | 19,76 | 28,98   | sandy clay loam          | 1,29              | 1,35 | 15,29 | 8,88  | 0,65 | 5,66  |
| 92  | 395226 | 4337770 | 7,8 | 2,2               | 58,88 | 17,36 | 23,76   | sandy clay loam          | 1,04              | 1,28 | 10,94 | 6,70  | 0,44 | 13,80 |
| 93  | 396606 | 4336415 | 7,6 | 0,88              | 44,88 | 17,28 | 37,84   | clay loam                | 1,61              | 2,02 | 7,80  | 5,16  | 0,82 | 6,42  |
| 94  | 396606 | 4337286 | 7,9 | 0,7               | 49,60 | 20,56 | 29,84   | sandy clay loam          | 1,54              | 1,88 | 6,88  | 5,58  | 0,60 | 1,74  |
| 95  | 397922 | 4337958 | 7,8 | 6,6               | 62,88 | 21,84 | 15,28   | sandy loam               | 1,51              | 2,50 | 5,70  | 4,50  | 2,16 | 33,72 |
| 96  | 398731 | 4337584 | 7,8 | 2,2               | 48,16 | 31,28 | 20,56   | loam                     | 1,51              | 1,62 | 4,56  | 5,36  | 0,12 | 1,08  |
| 97  | 398943 | 4337236 | 8   | 1,98              | 45,60 | 36,56 | 17,84   | loam                     | 1,37              | 1,52 | 7,42  | 10,16 | 0,96 | 1,14  |
| 98  | 397748 | 4336346 | 7,3 | 0,88              | 41,60 | 18,56 | 39,84   | clay loam                | 1,37              | 1,08 | 19,06 | 7,94  | 0,96 | 1,88  |
| 99  | 396836 | 4335694 | 6   | 0                 | 46,88 | 21,84 | 31,28   | sandy clay loam          | 1,24              | 1,14 | 44,14 | 22,26 | 1,08 | 0,88  |
| 100 | 395642 | 4334259 | 8   | 20,2              | 50,99 | 20,71 | 28,30   | sandy clay loam          | 1,7               | 1,12 | 2,22  | 8,22  | 0,78 | 3,46  |
| 101 | 396736 | 4334080 | 8   | 19,8              | 44,24 | 15,20 | 40,56   | clay                     | 1,37              | 0,70 | 4,68  | 2,52  | 0,68 | 2,08  |
| 102 | 398150 | 4333990 | 8   | 22,88             | 60,88 | 19,36 | 19,76   | sandy clay loam          | 2,58              | 1,20 | 8,44  | 6,36  | 0,72 | 1,48  |
| 103 | 397693 | 4335358 | 7,7 | 0,44              | 49,60 | 24,56 | 25,84   | sandy clay loam          | 0,9               | 0,92 | 10,72 | 7,14  | 0,40 | 0,66  |
| 104 | 398688 | 4336128 | 7,8 | 2,42              | 48,88 | 31,84 | 19,28   | loam                     | 1,07              | 1,90 | 6,28  | 5,92  | 1,58 | 7,10  |
| 105 | 399149 | 4336385 | 7,9 | 2,2               | 52,96 | 25,92 | 21,12   | sandy clay loam          | 1,14              | 1,16 | 3,22  | 5,46  | 0,64 | 1,36  |
| 106 | 399438 | 4336585 | 7,8 | 0,88              | 52,88 | 21,84 | 25,28   | sandy clay loam          | 1,61              | 1,29 | 1,44  | 3,27  | 0,87 | 3,02  |
| 107 | 399691 | 4336475 | 7,8 | 1,76              | 46,16 | 31,28 | 22,56   | loam                     | 1,54              | 1,20 | 3,88  | 5,50  | 0,38 | 2,80  |
| 108 | 399374 | 4336416 | 8   | 1,76              | 56,88 | 19,84 | 23,28   | sandy clay loam          | 1,44              | 1,26 | 2,66  | 2,56  | 0,64 | 2,42  |
| 109 | 399745 | 4335553 | 8,2 | 0,88              | 26,16 | 43,28 | 30,56   | clay loam                | 1,94              | 1,28 | 10,46 | 6,60  | 1,50 | 2,54  |
| 110 | 399250 | 4335989 | 8,2 | 0,44              | 52,88 | 25,28 | 21,84   | sandy clay loam          | 1,81              | 1,56 | 5,26  | 5,32  | 1,90 | 5,90  |
| 111 | 398574 | 4335247 | 7,1 | 0,44              | 52,88 | 33,12 | 14,00   | loam                     | 1,24              | 1,26 | 8,74  | 8,34  | 0,64 | 1,28  |
| 112 | 398961 | 4335026 | 7,6 | 1,32              | 64,96 | 17,92 | 17,12   | sandy loam               | 1,78              | 0,94 | 3,88  | 5,26  | 0,38 | 2,04  |

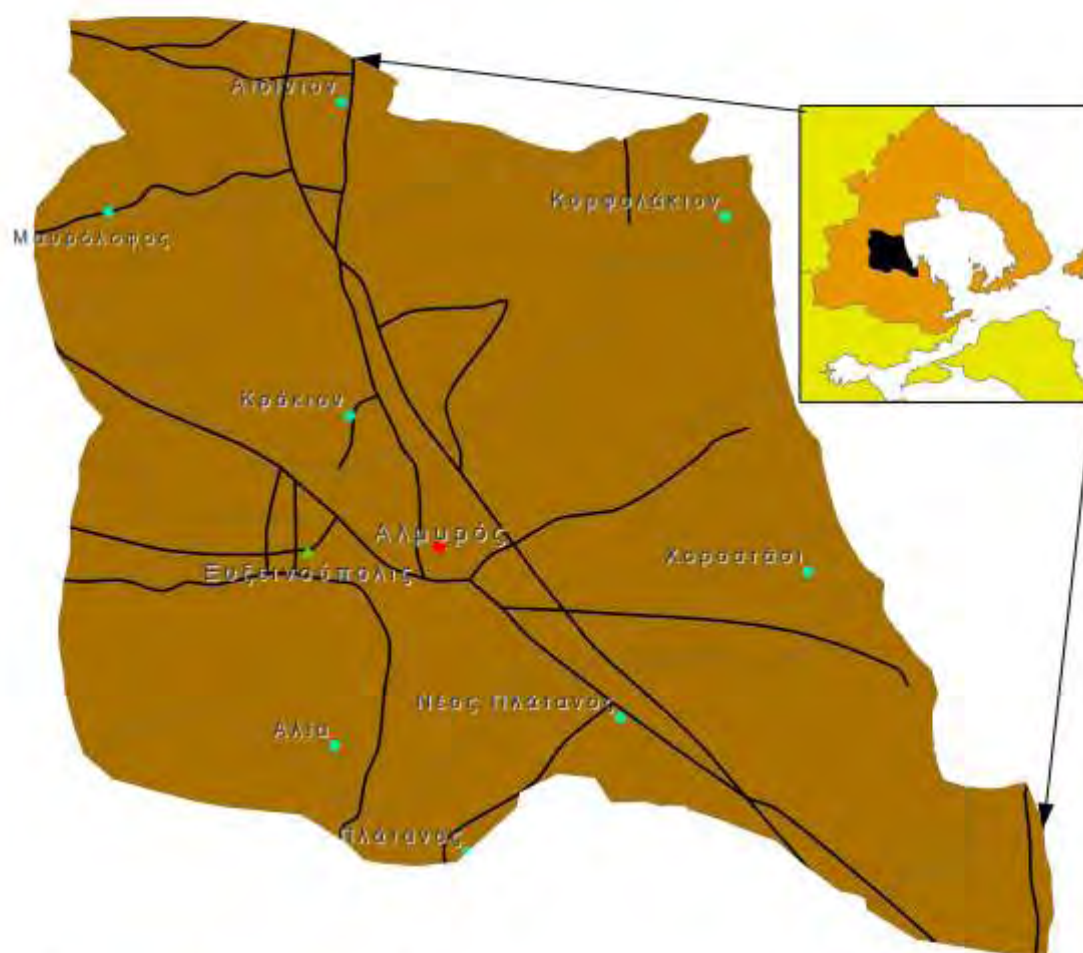
| A/A | x      | y       | pH  | CaCO <sub>3</sub> | Άμμος | Ιλύς  | Άργιλος | Χαρακτηρισμός<br>έδαφους | Οργανική<br>ουσία | Cu   | Mn    | Fe     | Pb   | Zn    |
|-----|--------|---------|-----|-------------------|-------|-------|---------|--------------------------|-------------------|------|-------|--------|------|-------|
| 113 | 399435 | 4334572 | 8,7 | 4,84              | 57,60 | 26,56 | 15,84   | sandy loam               | 1,84              | 1,16 | 5,86  | 5,66   | 0,54 | 0,54  |
| 114 | 399937 | 4334549 | 8   | 7,92              | 52,88 | 21,84 | 25,28   | sandy clay loam          | 2,41              | 1,96 | 3,82  | 13,52  | 0,54 | 2,38  |
| 115 | 399248 | 4334275 | 8,2 | 28,16             | 34,88 | 35,28 | 29,84   | clay loam                | 2,68              | 1,42 | 8,72  | 16,28  | 0,94 | 3,96  |
| 116 | 399195 | 4333763 | 8,3 | 26,4              | 46,16 | 29,28 | 24,56   | loam                     | 2,58              | 1,08 | 3,88  | 13,40  | 0,74 | 4,42  |
| 117 | 398825 | 4333545 | 7,8 | 1,54              | 36,96 | 13,92 | 49,12   | clay                     | 2,65              | 2,08 | 6,78  | 4,88   | 3,46 | 1,22  |
| 118 | 398481 | 4334206 | 7,4 | 0,66              | 54,88 | 23,84 | 21,28   | sandy clay loam          | 1,64              | 1,34 | 5,64  | 6,36   | 0,88 | 0,98  |
| 119 | 398470 | 4334884 | 8,1 | 1,32              | 48,24 | 24,33 | 27,43   | clay loam                | 1,76              | 1,33 | 8,71  | 8,92   | 0,92 | 4,30  |
| 120 | 397403 | 4334668 | 7,6 | 0,44              | 48,86 | 21,14 | 30,00   | sandy clay loam          | 1,5               | 1,29 | 12,66 | 8,05   | 0,89 | 2,87  |
| 121 | 399860 | 4334060 | 8   | 32,34             | 44,88 | 21,36 | 33,76   | clay loam                | 4,02              | 1,62 | 5,62  | 28,98  | 0,70 | 86,66 |
| 122 | 400289 | 4334319 | 7,8 | 14,96             | 65,60 | 10,56 | 23,84   | sandy clay loam          | 5,7               | 1,56 | 9,38  | 21,52  | 1,32 | 4,92  |
| 123 | 400359 | 4333770 | 8,4 | 18,92             | 70,88 | 11,36 | 17,76   | sandy loam               | 1,74              | 0,64 | 5,20  | 16,64  | 0,84 | 13,90 |
| 124 | 400432 | 4333410 | 7,9 | 25,96             | 46,88 | 11,84 | 41,28   | sandy clay               | 4,72              | 3,96 | 11,60 | 106,40 | 1,38 | 7,72  |
| 125 | 400639 | 4333604 | 8   | 7,04              | 52,24 | 21,20 | 26,56   | sandy clay loam          | 2,55              | 1,28 | 9,60  | 20,20  | 1,20 | 23,70 |
| 126 | 400642 | 4333314 | 8,1 | 12,3              | 46,83 | 20,06 | 33,11   | sandy clay loam          | 2,78              | 2,05 | 11,84 | 50,42  | 1,20 | 12,75 |
| 127 | 400944 | 4333158 | 6,8 | 0                 | 34,24 | 17,20 | 48,56   | clay                     | 2,31              | 1,20 | 24,42 | 10,96  | 0,58 | 0,96  |
| 128 | 400923 | 4332479 | 8   | 3,3               | 50,88 | 17,28 | 31,84   | sandy clay loam          | 1,91              | 2,16 | 5,32  | 12,12  | 0,80 | 1,64  |
| 129 | 400403 | 4332631 | 8,2 | 1,76              | 36,16 | 21,28 | 42,56   | clay                     | 2,31              | 1,48 | 11,92 | 5,18   | 0,30 | 1,26  |
| 130 | 399998 | 4333064 | 8   | 2,86              | 30,96 | 17,92 | 51,12   | clay                     | 1,94              | 1,52 | 11,38 | 5,86   | 1,16 | 9,28  |
| 131 | 399639 | 4332959 | 7,7 | 21,78             | 32,96 | 21,92 | 45,12   | clay                     | 2,58              | 2,62 | 7,56  | 4,14   | 0,64 | 50,20 |
| 132 | 399800 | 4332271 | 8,3 | 1,76              | 34,16 | 17,28 | 48,56   | clay                     | 1,31              | 0,70 | 13,68 | 3,18   | 0,38 | 1,00  |
| 133 | 401082 | 4332074 | 7,8 | 3,96              | 26,88 | 31,84 | 41,28   | clay                     | 2,01              | 1,78 | 4,22  | 7,14   | 0,72 | 1,78  |
| 134 | 401744 | 4332432 | 8   | 1,32              | 78,16 | 11,28 | 10,56   | sandy loam               | 0,94              | 0,44 | 5,14  | 6,96   | 0,24 | 0,44  |
| 135 | 401640 | 4332975 | 7,9 | 3,08              | 36,88 | 33,28 | 29,84   | clay loam                | 1,88              | 2,32 | 15,50 | 32,84  | 1,58 | 6,96  |

**ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ  
ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΑΛΜΥΡΟΥ**



**Εικόνα 21.** Θεματικός χάρτης υδρογραφικού δικτύου με υπέρθεση οικισμών πεδιάδας Αλμυρού.

**ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ  
ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΑΛΜΥΡΟΥ**



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ
- ΠΟΛΕΙΣ
- ▲ ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ
- ΧΩΡΙΑ
- ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ



**Εικόνα 22.** Θεματικός χάρτης οδικού δικτύου με υπέρθεση οικισμών πεδιάδας Αλμυρού.



**ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΙΣΟΥΨΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ  
ΜΕ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΑΛΜΥΡΟΥ**



**Εικόνα 23.** Θεματικός χάρτης ισουψών καμπύλων με υπέρθεση οικισμών πεδιάδας Αλμυρού.

## ΧΑΡΤΗΣ ΘΕΣΕΩΝ ΛΗΨΗΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ



**Εικόνα 24.** Θεματικός χάρτης σημείων δειγματοληψίας με υπέρθεση οικισμών και υδρογραφικού δικτύου πεδιάδας Αλμυρού.

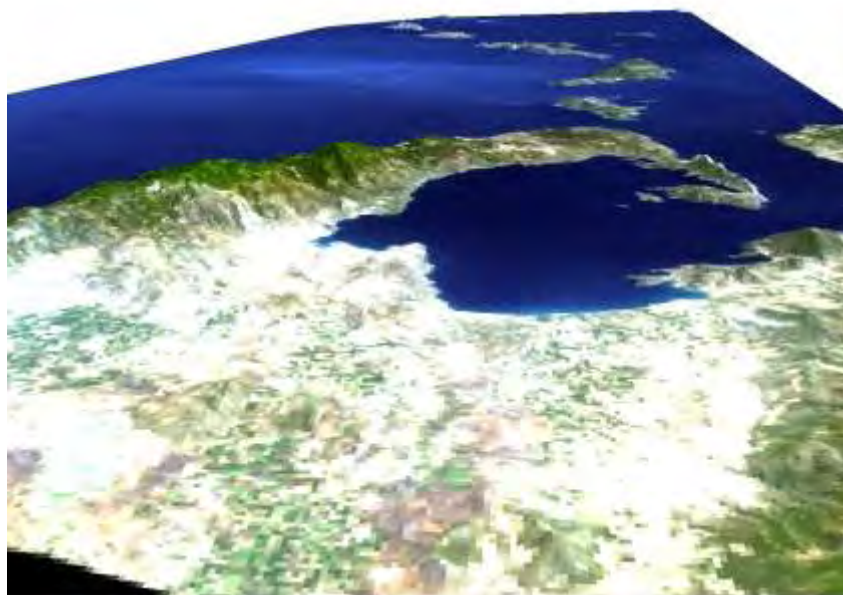
### 3.1.1. Μορφολογικοί χάρτες

Με τη βοήθεια των ισοϋψών καμπύλων και των δορυφορικών εικόνων δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM) της πεδιάδας Αλμυρού το οποίο λαμβάνει υπόψη 250.000 υψομετρικά σημεία ομοιόμορφα διασπαρμένα στην περιοχή δειγματοληψίας.

Το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM) της πεδιάδας Αλμυρού (εικόνα 25), είναι ένας χάρτης συνεχούς επιφάνειας όπου η πληροφορία του υψομέτρου είναι διαθέσιμη σε κάθε σημείο της περιοχής σε αντίθεση με το θεματικό υπόβαθρο των ισοϋψών καμπυλών όπου η πληροφορία του υψομέτρου είναι διαθέσιμη μόνο πάνω σε κάθε ισοϋψή καμπύλη. Το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για τη παραγωγή περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να κάνει πτήσεις πάνω από τους θεματικούς χάρτες εδαφικών ιδιοτήτων. Ακόμη με υπέρθεση της δορυφορικής εικόνας προσομοιώθηκε όλοκληρος ο νομός Μαγνησίας καθώς και μέρος του νομού Λάρισας.

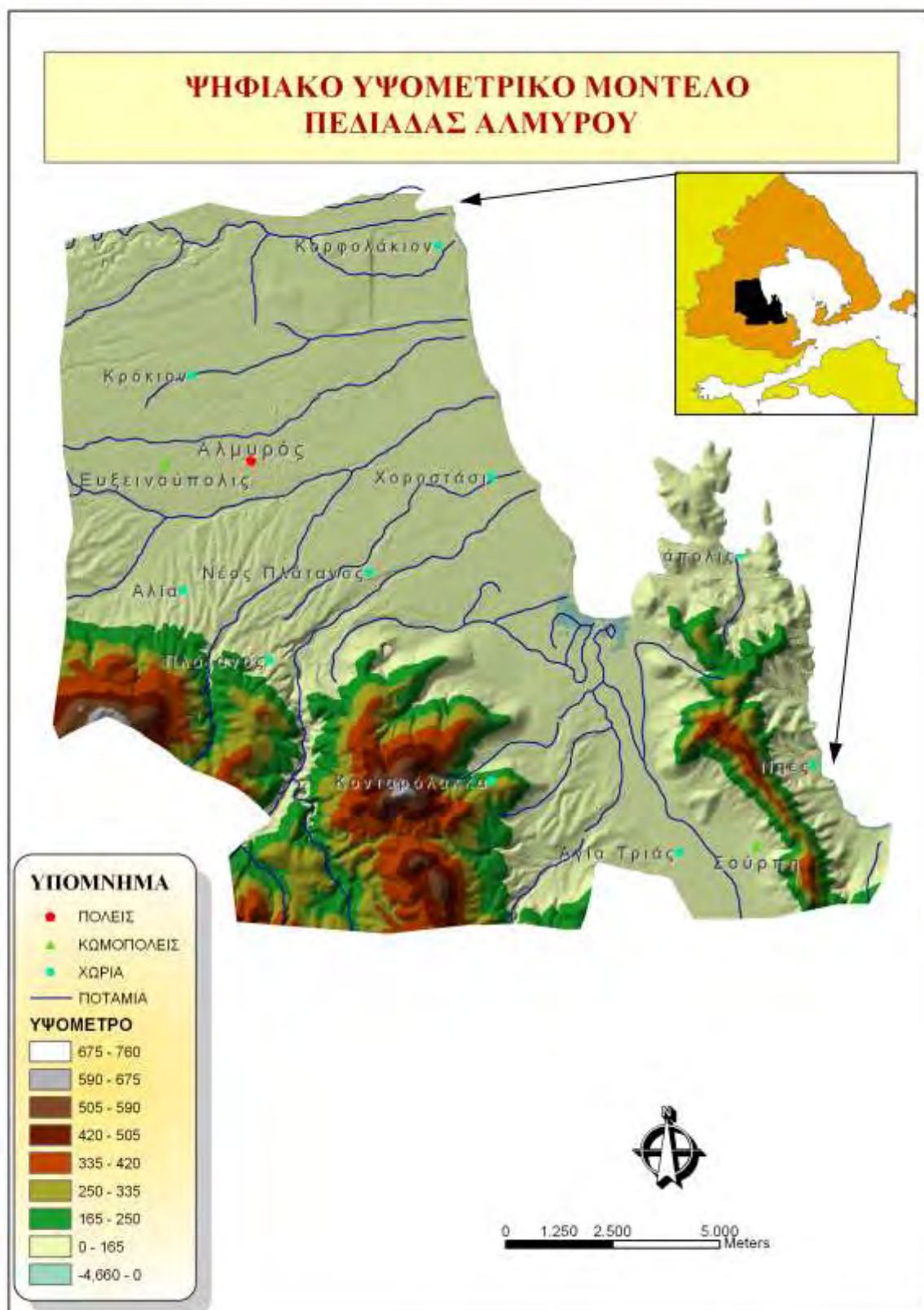
Με δεδομένο εισαγωγής το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο παρήχθησαν οι εξής θεματικοί χάρτες (**Εικόνες 26, 27, 28, 29**):

- Κλίσεων (slope)
- Προσανατολισμού κλίσεων (aspect)
- Σκίασης του αναγλύφου (Hill shade)



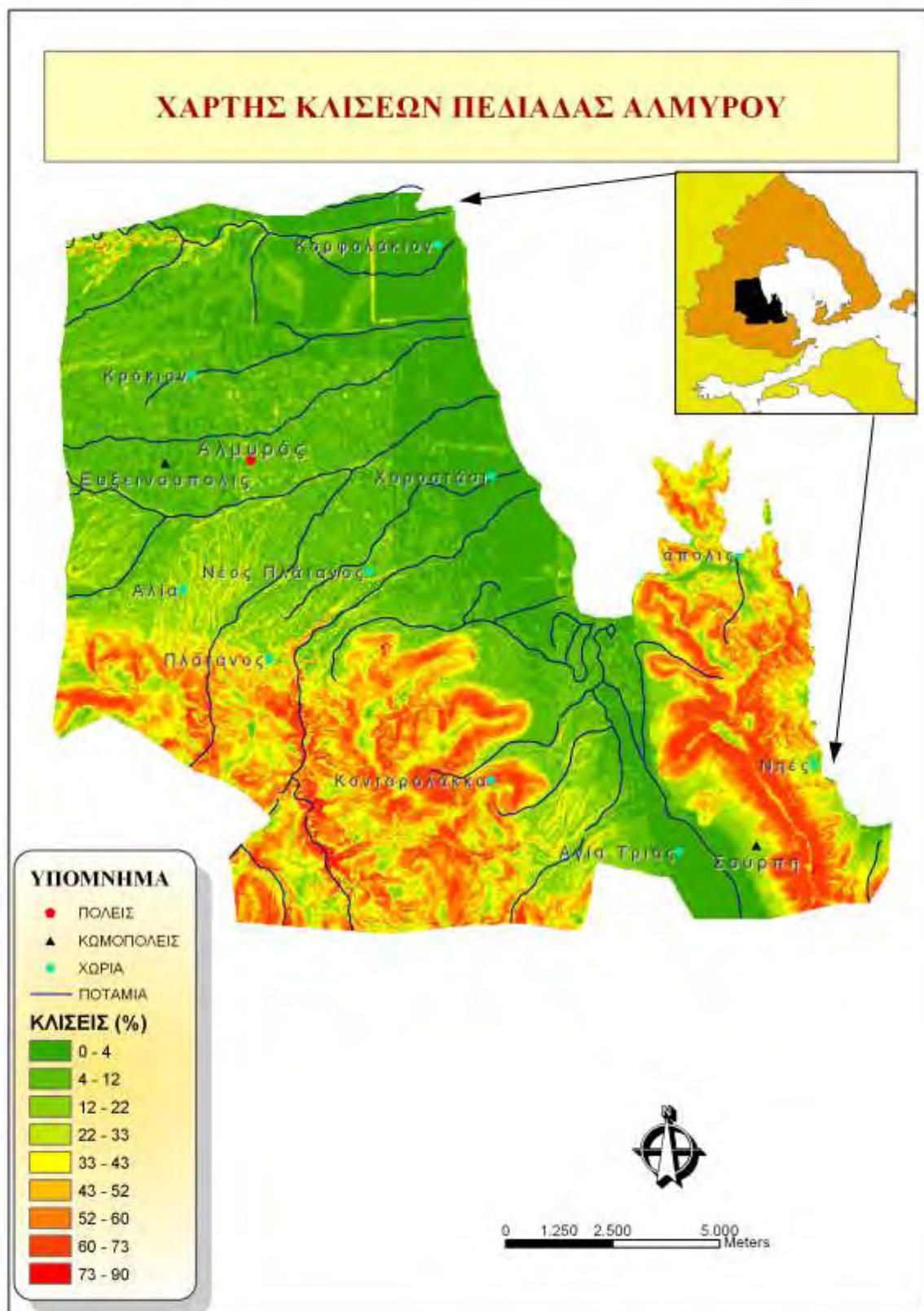
**Εικόνα 25.** Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο με υπέρθεση δορυφορικής εικόνας.



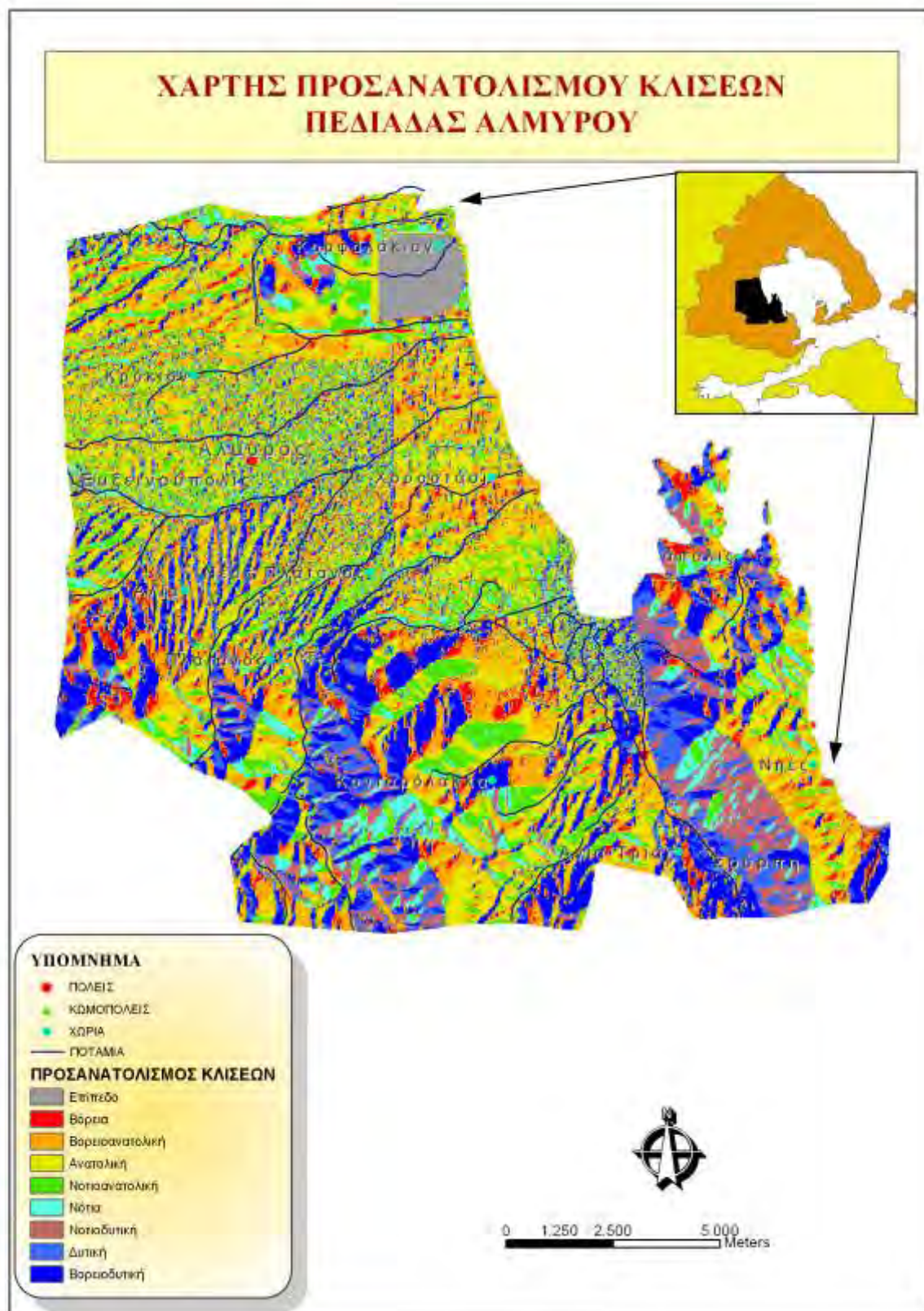


**Εικόνα 26.** Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο με υπέρθεση υδρογραφικού πεδιάδας Αλμυρού.





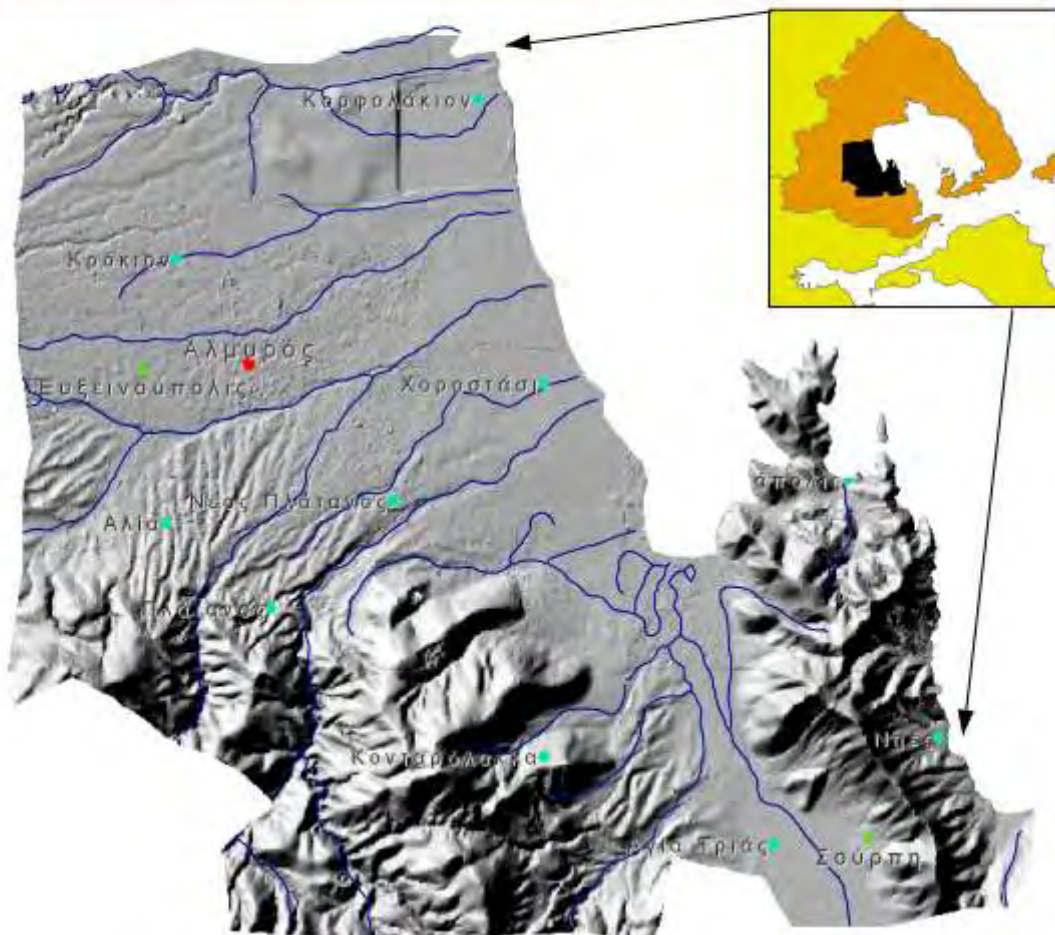
**Εικόνα 27.** Χάρτης κλίσεων με υπέρθεση υδρογραφικού και οικισμών πεδιάδας Αλμυρού.



**Εικόνα 28.** Χάρτης προσανατολισμού κλίσεων με υπέρθεση υδρογραφικού και οικισμών πεδιάδας Αλμυρού.



## ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΚΙΑΣΜΕΝΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΑΛΜΥΡΟΥ



### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΠΟΛΕΙΣ
- ΚΩΜΟΠΟΛΕΙΣ
- ΧΩΡΙΑ
- ΠΟΤΑΜΙΑ



0 1.250 2.500 5.000 Meters

**Εικόνα 29.** Χάρτης σκιασμένου ανάγλυφου με υπέρθεση υδρογραφικού και οικισμών πεδιάδας Αλμυρού.

### **3.1.2 Χάρτες που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια της δορυφορικής εικόνας.**

Για να δοθεί μια πληρέστερη εικόνα της περιοχής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Landsat – 7 και ειδικότερα του αισθητήρα ETM+. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δορυφορικές εικόνες αποκτήθηκαν από το τμήμα δορυφορικής τηλεπισκόπησης του πανεπιστημίου του Maryland και με τη βοήθεια του καθηγητή Shrinidhi A. S. του Florida State University τμήμα γεωγραφίας.

Ο δορυφόρος Landsat – 7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου 1999. Έχει πολλούς εξελιγμένους αισθητήρες και τη δυνατότητα να λαμβάνει πανχρωματικές εικόνες με διακριτική ικανότητα εδάφους 15 μέτρων. Δημιουργήθηκε για να καλύψει με το μικρότερο δυνατό κόστος και με τελευταίας τεχνολογίας αισθητήρες μια τεράστια γκάμα εφαρμογών.

Ο αισθητήρας ETM + διαθέτει 8 κανάλια δεδομένων συγκεκριμένα :

- ❖ Το κανάλι 1 έχει ζώνη φάσματος 0,45-0,52μm (μπλε) και διακριτική ικανότητα 30 μέτρα
- ❖ Το κανάλι 2 έχει ζώνη φάσματος 0,52-0,60μm (πράσινο) και διακριτική ικανότητα 30 μέτρα
- ❖ Το κανάλι 3 έχει ζώνη φάσματος 0,63-0,69μm (κόκκινο) και διακριτική ικανότητα 30 μέτρα
- ❖ Το κανάλι 4 έχει ζώνη φάσματος 0,75-0,90μm (κοντινό υπέρυθρο) και διακριτική ικανότητα 30 μέτρα
- ❖ Το κανάλι 5 έχει ζώνη φάσματος 1,55-1,75μm (υπέρυθρο) και διακριτική ικανότητα 30 μέτρα
- ❖ Το κανάλι 6 έχει ζώνη φάσματος 10,4-12,5μm (θερμικό υπέρυθρο) και διακριτική ικανότητα 60 μέτρα
- ❖ Το κανάλι 7 έχει ζώνη φάσματος 2,08-2,35μm (κοντινό υπέρυθρο) και διακριτική ικανότητα 30 μέτρα
- ❖ Το κανάλι 8 έχει ζώνη φάσματος 0,52-0,90μm (πανχρωματικό) και διακριτική ικανότητα 15 μέτρα

Αξίζει να σημειωθεί ότι μας δόθηκαν ανεπεξέργαστες εικόνες στις οποίες έγινε γεωμετρική διόρθωση στο χώρο και κατάλληλη επεξεργασία φασμάτων.

Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν εικόνες :

**Φυσικού χρώματος** χρησιμοποιώντας τα κανάλια 3,2,1 στις θέσεις κόκκινου, πράσινου και μπλε αντίστοιχα. Ο φασματικός αυτός συνδυασμός χρησιμοποιείται για αφισες, για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε ρηχά νερά, για μετρήσεις βάθους νερών αλλά και για τη μελέτη ιζημάτων. Επιπλέον ο συνδυασμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χωροταξικές μελέτες.



**Εικόνα 30.** Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα φυσικού χρώματος.

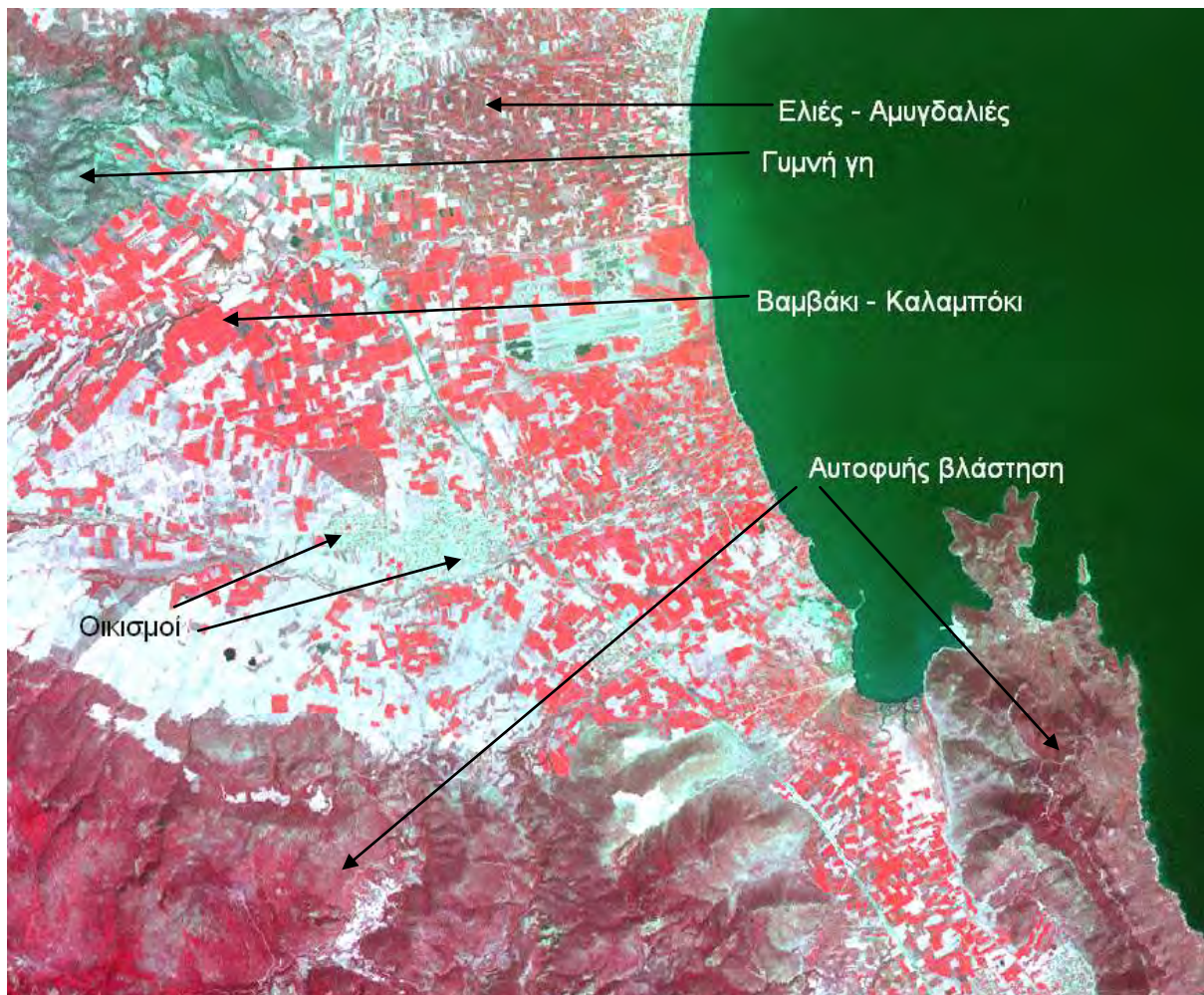
**Φυτοκάλυψης** χρησιμοποιώντας τα κανάλια 4,3,2 στις θέσεις κόκκινου, πράσινου και μπλε αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη εικόνα η φυτοκάλυψη εμφανίζεται σε αποχρώσεις του κόκκινου, οι αστικές περιοχές είναι γαλανές ενώ τα είδη εδαφών εμφανίζονται με καφέ έως καφέ ανοιχτό χρώμα. Αυτός ο αρκετά διαδομένος συνδυασμός καναλιών χρησιμοποιείται για γεωπονική κατά κύριο λόγο έρευνα αλλά και για να μελετηθεί η αντίδραση των φυτικών ειδών σε διαφορετικά είδη εδαφών καθώς και σε διαφορετικές συνθήκες άρδευσης. Γενικός κανόνας είναι ότι οι αγροί που χρωματίζονται με βαθύ κόκκινο φέρουν τα υγιέστερα φυτά. Στην εικόνα παρατηρούμε με έντονο κόκκινο τις καλλιέργειες βαμβακιού και καλαμποκιού που



υπάρχουν στην περιοχή ενώ με καφέ χρώμα απεικονίζονται οι καλλιέργειες ελιάς και αμυγδαλιάς που επίσης υπάρχουν. Άνω αριστερά απεικονίζεται με γαλαζοπράσινο χρώμα μια γυμνή από βλάστηση έκταση ενώ οι οικισμοί απεικονίζονται με ανοιχτό πράσινο χρώμα. Τέλος κάτω-περιοχή Όρθρυος απεικονίζεται αυτοφυής δασική βλάστηση.



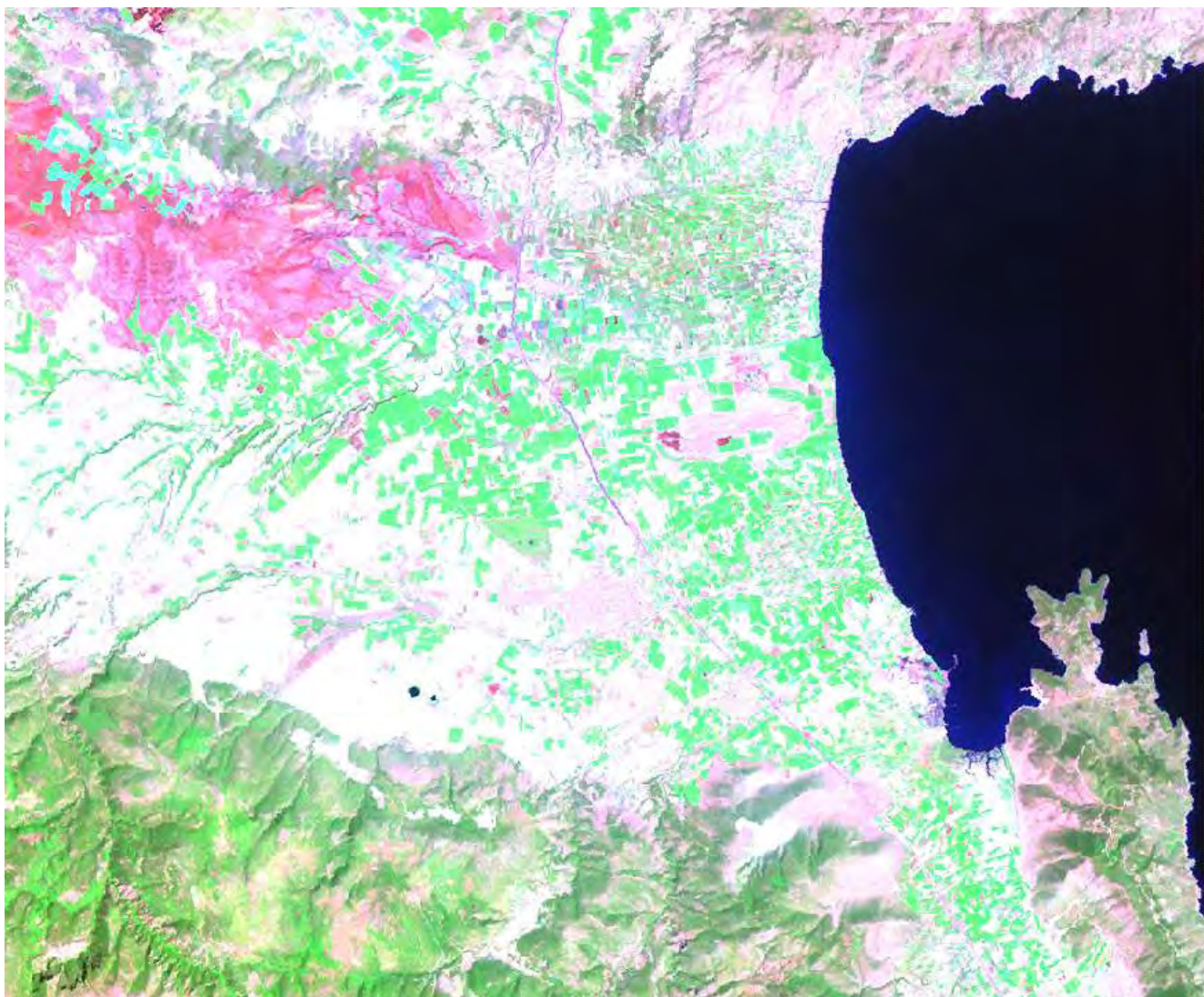
**Εικόνα 31.** Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα φυτοκάλυψης.



**Εικόνα 32.** Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα φυτοκάλυψης με αποτύπωση συμπερασμάτων.

**Γεωλογία** χρησιμοποιώντας τα κανάλια 7,4,2 στις θέσεις κόκκινου, πράσινου και μπλε αντίστοιχα. Αυτός ο συνδυασμός έχει το πλεονέκτημα να διεισδύει κάτω από τα ατμοσφαιρικά σωματίδια και τον καπνό. Η υγιής βλάστηση χρωματίζεται με ανοιχτό πράσινο χρώμα ενώ με ροζ χρώμα απεικονίζεται η γυμνή γη. Επίσης με καφέ και πορτοκαλί και καφέ αποτυπώνονται αραιοσπαρμένοι αγροί. Η ξηρή βλάστηση αποτυπώνεται με πορτοκαλί ενώ το νερό είναι γαλάζιο. Οι τύποι εδαφών και τα ορυκτά απεικονίζονται με πλήθος χρωμάτων. Ο συνδυασμός αυτός των καναλιών χρησιμοποιείται για γεωλογικούς αλλά και γεωπονικούς σκοπούς. Είναι ιδανικός για τη μελέτη της γεωλογίας μιας γυμνής από βλάστηση περιοχής. Ο συγκεκριμένος τύπος εικόνων είναι ιδανικός και σε περιπτώσεις διαχείρισης δασών που πρόσφατα τμήμα τους έχει καεί.

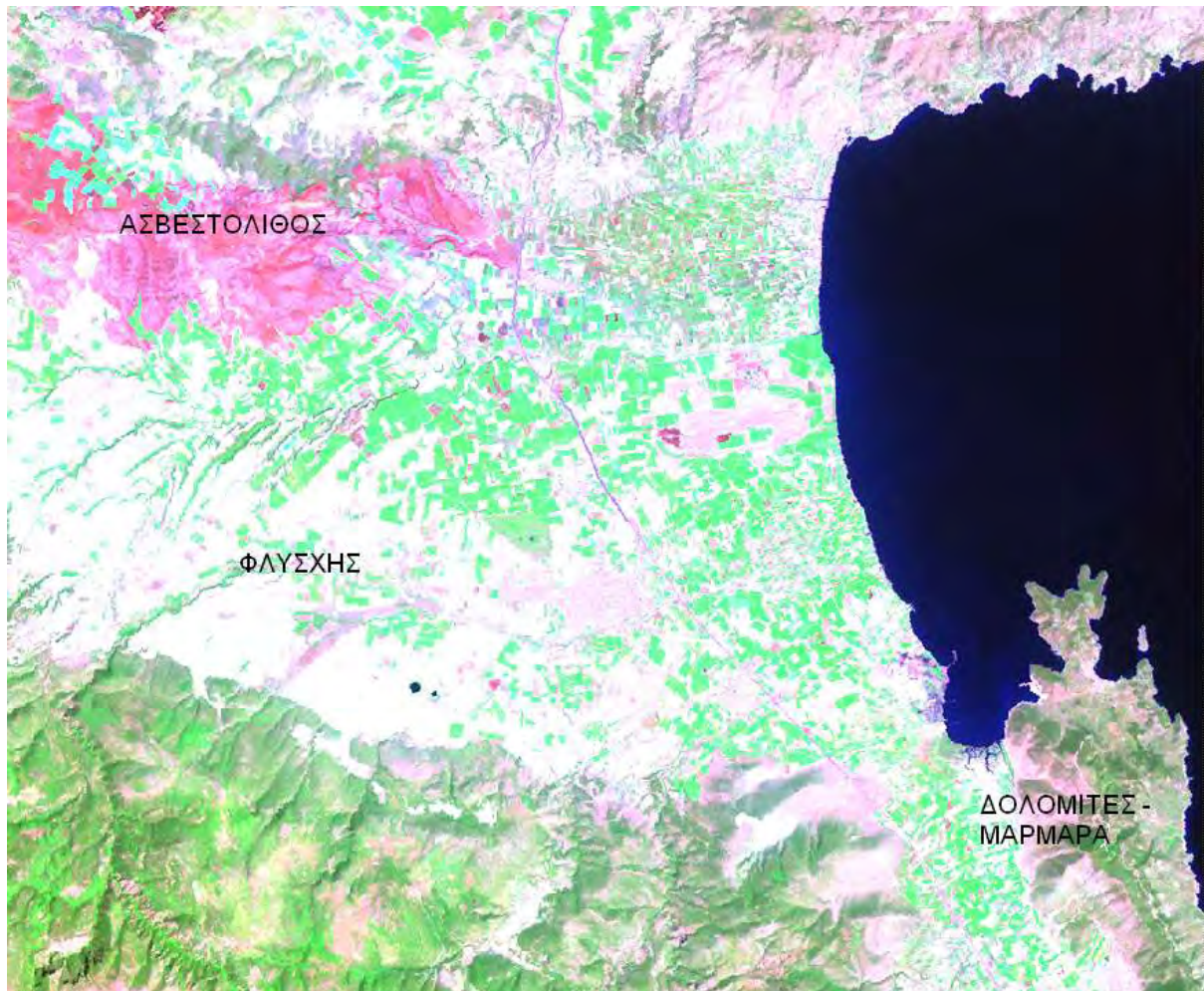




**Εικόνα 33.** Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα γεωλογίας.

Αν συγκρίνουμε την παραπάνω δορυφορική με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής (εικ. 33 ) τότε καταλήγουμε σε κάποια γενικά συμπεράσματα για τα χρώματα που απεικονίζονται στην επεξεργασμένη εικόνα. Το έντονο ροζ χρώμα ανω αριστερά της εικόνας απεικονίζει περιοχές με εδάφη με ασβεστολιθικό μητρικό υλικό ενώ το λευκό χρώμα στο μέσο της εικόνας περίπου απεικονίζει φλύσχη. Τέλος το ανοιχτό ροζ χρώμα κατω δεξιά της εικόνας απεικονίζονται μάρμαρα και δολομίτες.





**Εικόνα 34.** Επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα γεωλογίας με αποτύπωση συμπερασμάτων.

### 3.1.3 Εδαφολογικοί χάρτες εσωεκτίμησης Kriging

Μετά την δημιουργία του ψηφιακού χάρτη των εδαφικών δειγμάτων (εικόνα 24), οι σημειακές αυτές παρατηρήσεις αποτέλεσαν δεδομένο εισαγωγής για τη δημιουργία, μέσω μεθόδων εσωεκτίμησης των εξής θεματικών χαρτών συνεχούς επιφάνειας:

- **Χάρτης οξύτητας (pH)**

- Χάρτης % οργανικής ουσίας
- Χάρτης  $\text{CaCO}_3$
- Χάρτης διαθέσιμου Cu
- Χάρτης διαθέσιμου Fe
- Χάρτης διαθέσιμου Mn
- Χάρτης διαθέσιμου Pb
- Χάρτης διαθέσιμου Zn
- Χάρτης % άμμου
- Χάρτης % ιλύος
- Χάρτης % αργίλου

Δεν ήταν δυνατόν να δημιουργηθεί χάρτης διαθέσιμου Cd αφού οι τιμές ήταν πολύ χαμηλές για τη λάμπα ατομικής απορρόφησης του ΙΣΤΑΠ.

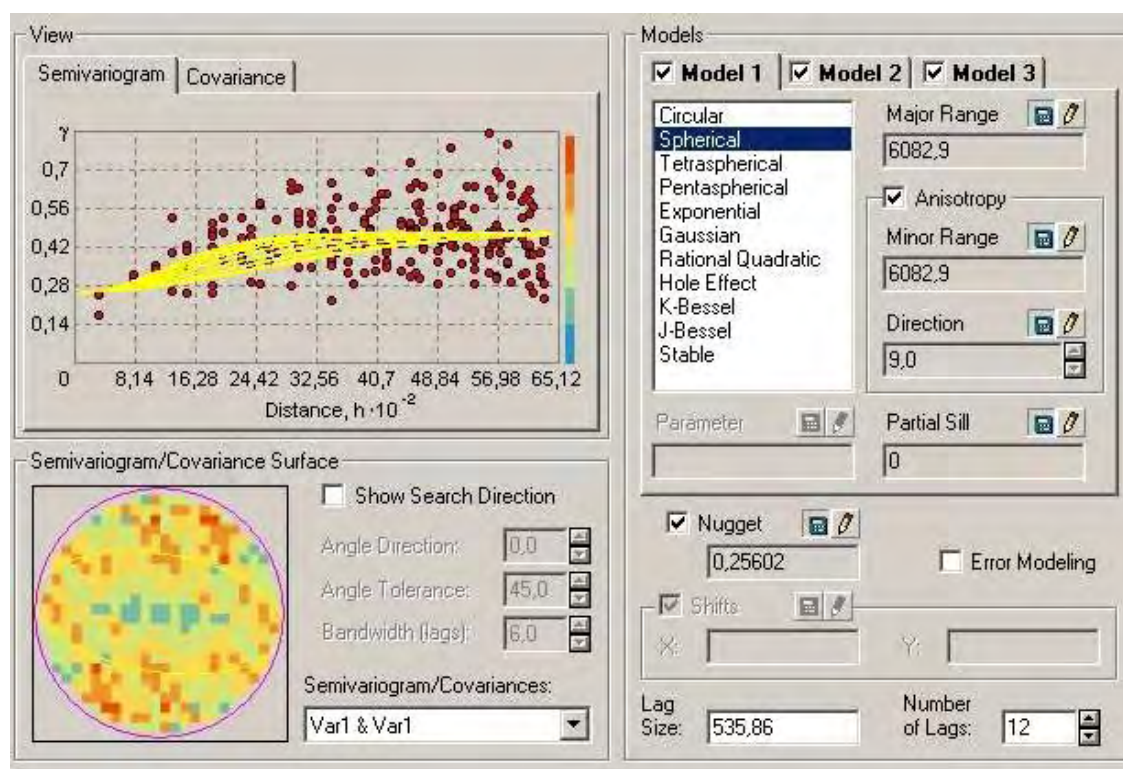
Με τους χάρτες συνεχούς επιφάνειας που δημιουργήθηκαν δίνεται η δυνατότητα της λήψης πληροφορίας από οποιοδήποτε σημείο της περιοχής σε αντίθεση του χάρτη των εδαφικών τομών όπου μόνο στα σημεία δειγματοληψίας είναι δυνατή η λήψη πληροφορίας.

Ο χάρτης pH (εικόνα 35) μας αποκαλύπτει ότι στην πεδιάδα του Αλμυρού υπάρχουν κατά κύριο λόγο αλκαλικά και ουδέτερα εδάφη αλλά και όξινα σε μικρότερο βαθμό. Τα ποσοστά των αποτελεσμάτων φαίνονται αναλυτικά στο σχήμα. Παρά τα λίγα σχετικά δείγματα όξινων εδαφών (είναι 13 στα 135) στο χάρτη πρόβλεψης διακρίνεται καθαρά μια περιοχή όξινων εδαφών. Η πρόβλεψη για όξινα εδάφη στην περιοχή επιβεβαιώνεται και από τις παρατηρήσεις που έγιναν για τη βλάστηση των συγκεκριμένων σημείων. Είναι χαρακτηριστικό ότι στη περιοχή που σύμειώνεται από το χάρτη πρόβλεψης ως όξινη υπάρχουν βελανιδιές διασπαρτες ενώ στο μέσο της περιοχής υπάρχει και δάσος με το συγκεκριμένο είδος. Οι βελανιδιές είναι από τα πιο χαρακτηριστικά φυτά – δείκτες όξινων εδαφών.

Για τη δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε συνδιασμός των μοντέλων SPHERICAL και GAUSSIAN ενώ λόγω της τεράστιας παραλλακτικότητας της περιοχής δειγματοληψίας το δείγμα θεωρήθηκε ανισότροπο. Επίσης διαπιστώθηκε δευτέρου βαθμού τάση από την ανατολή προς τη δύση. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του μοντέλου παρουσιάζονται στις εικόνες 36, 37 και στο σχήμα 8.

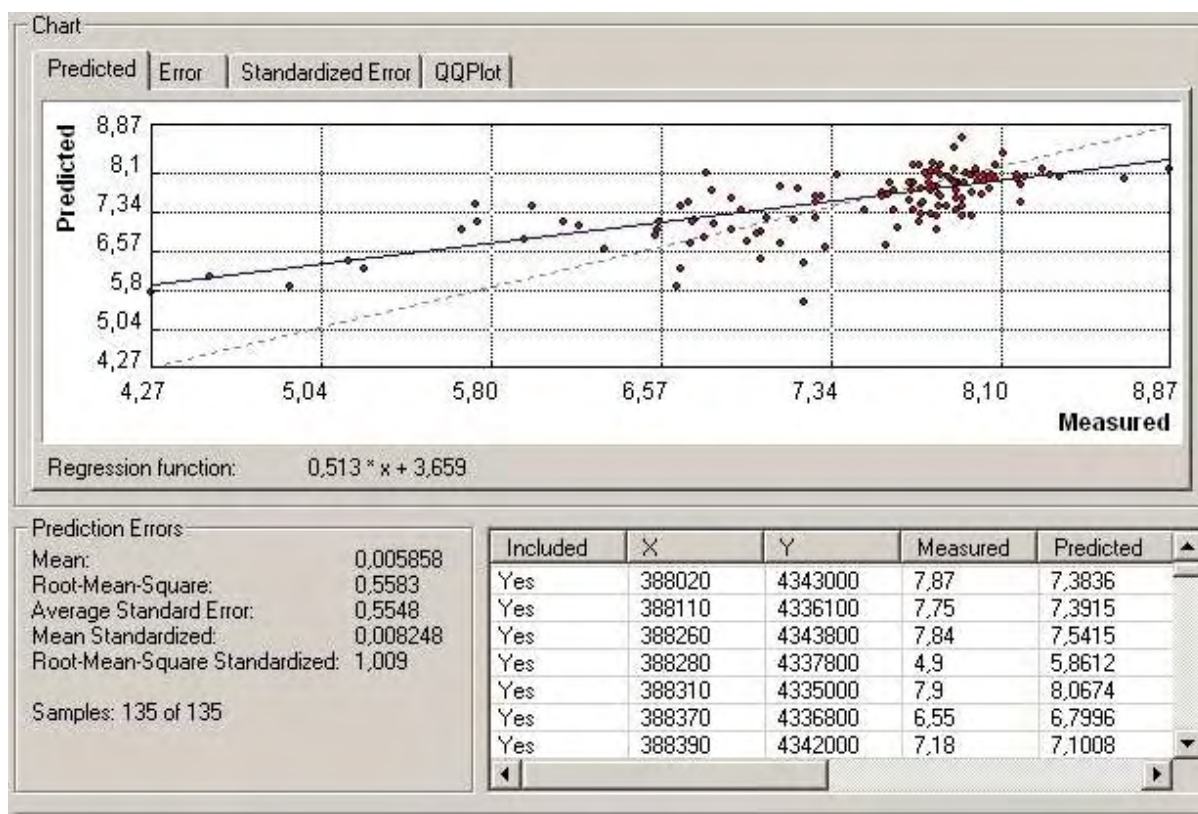


**Σχήμα 8.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy.



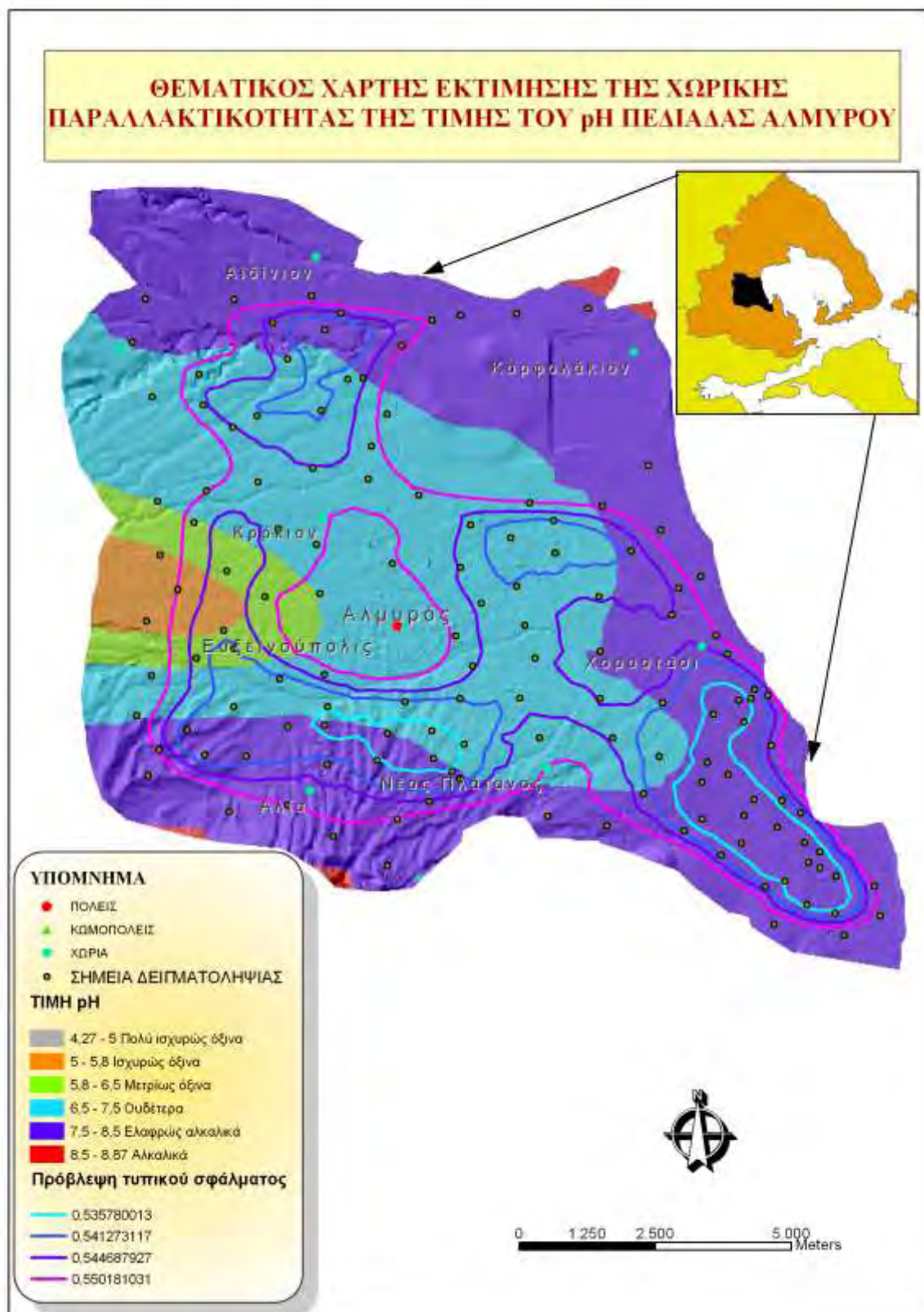
**Εικόνα 36** Διάγραμμα της ημιπαράλλακτικότητας των τιμών του pH σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



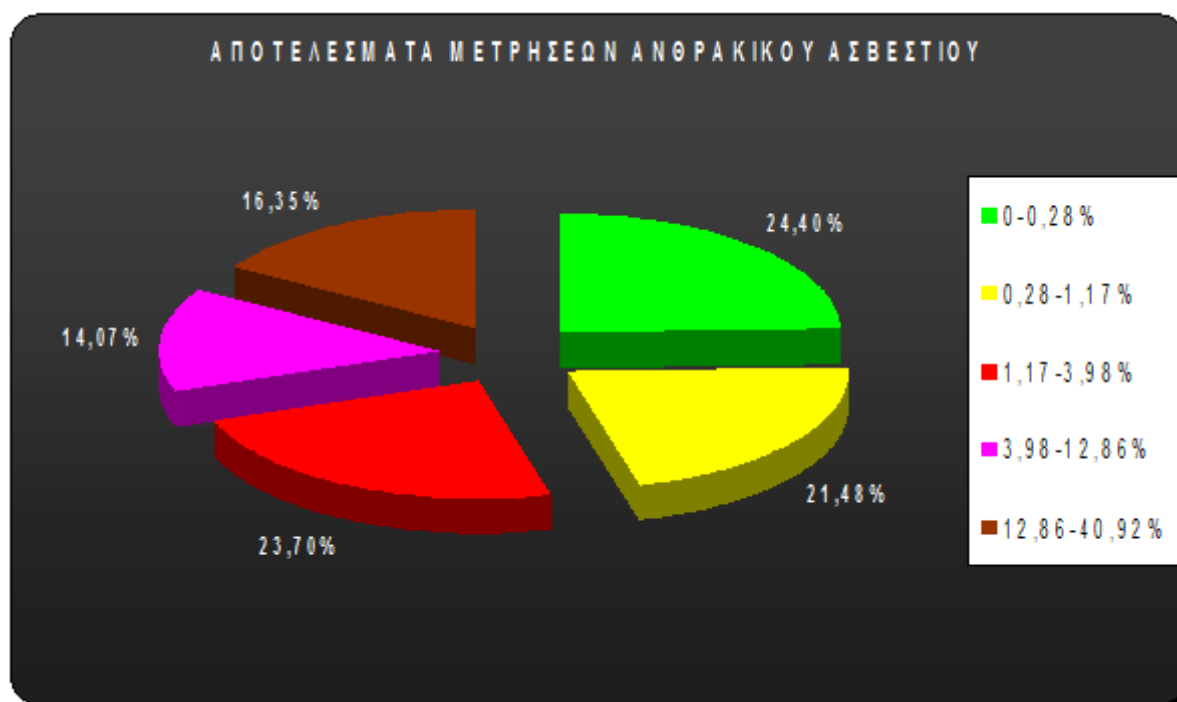


**Εικόνα 37** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών του pH σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

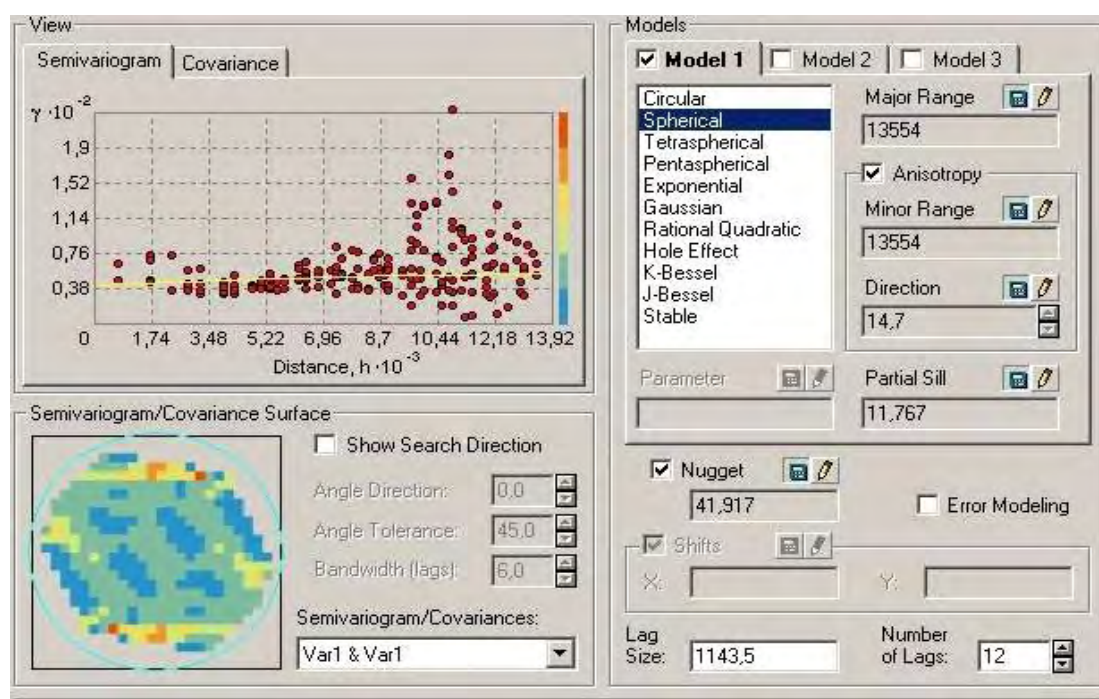
Ο χάρτης  $\text{CaCO}_3$  (εικόνα 38) εμφανίζει υψηλά ποσοστά στις παρυφές των λόφων του Αλμυρού γεγονός απόλυτα δικαιολογημένο λόγο των πλούσιων σε ασβέστιο πετρωμάτων που υπάρχουν εκεί. Η πρόταση αυτή επιβεβαιώνεται από την δορυφορική εικόνα, το γεωλογικό χάρτη της περιοχής καθώς και τις παρατηρήσεις της ομάδας δειγματοληψίας. Στο χάρτη πρόβλεψη ακόμη, παρατηρούμε ότι στη περιοχή που υπάρχουν όξινα εδάφη έχουμε και χαμηλές τιμές  $\text{CaCO}_3$ . Οι χαμηλές τιμές  $\text{CaCO}_3$  επεκτείνονται ανατολικότερα της περιοχής της Ευξεινουπόλεως όπου έχουμε αποδεδειγμένα τιμές χαμηλού pH. Η περιοχές αυτές είναι κατά κύριο λόγο πεδινές συνεπώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι μειωμένες τιμές του ανθρακικού ασβεστίου να οφείλονται στην έκπληση του από τον επιφανειακό ορίζοντα. Τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας είναι μοιρασμένα αφού έχουμε ίσο περίπου αριθμό δειγμάτων με υψηλές και χαμηλές συγκεντρώσεις  $\text{CaCO}_3$  αυτό φαίνεται εξάλου και στο σχήμα 9.



**Εικόνα 35.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης pH

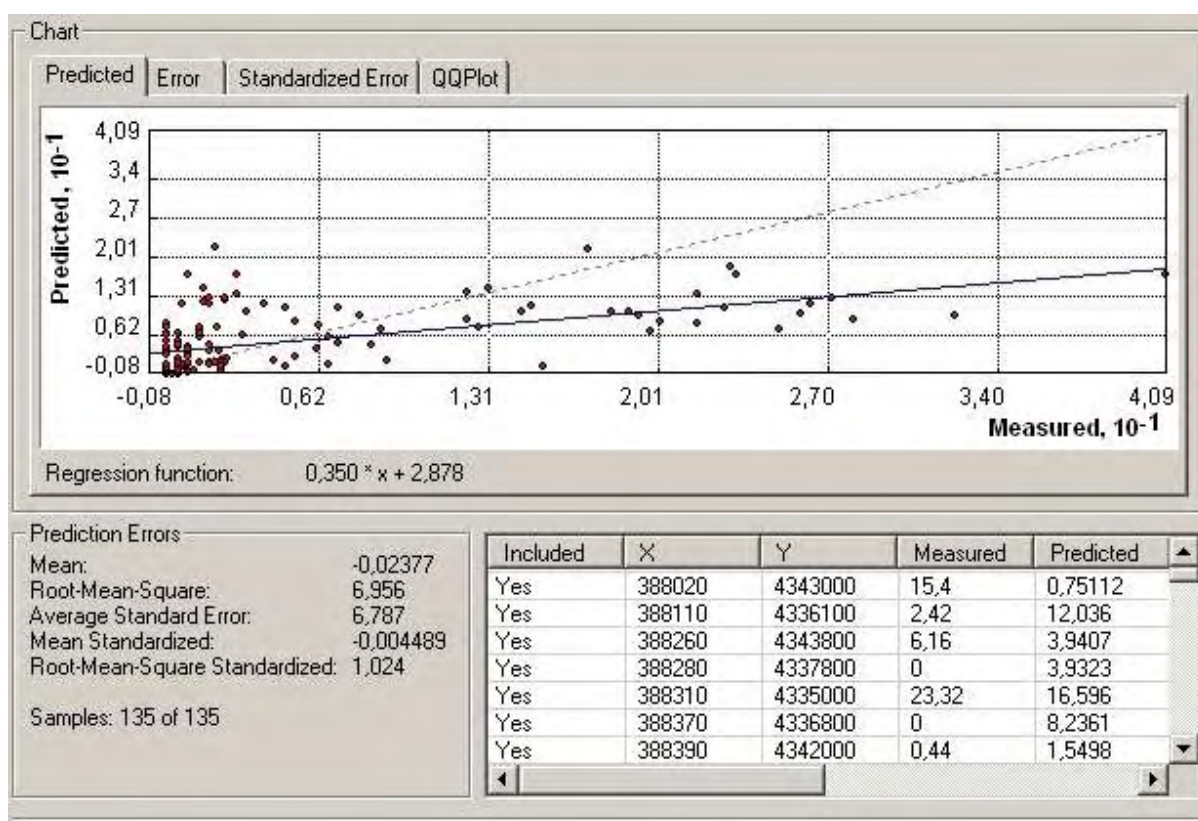


**Σχήμα 9.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα



**Εικόνα 39.** Διάγραμμα της ημιπααραλλακτικότητας των τιμών του  $\text{CaCO}_3$  σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

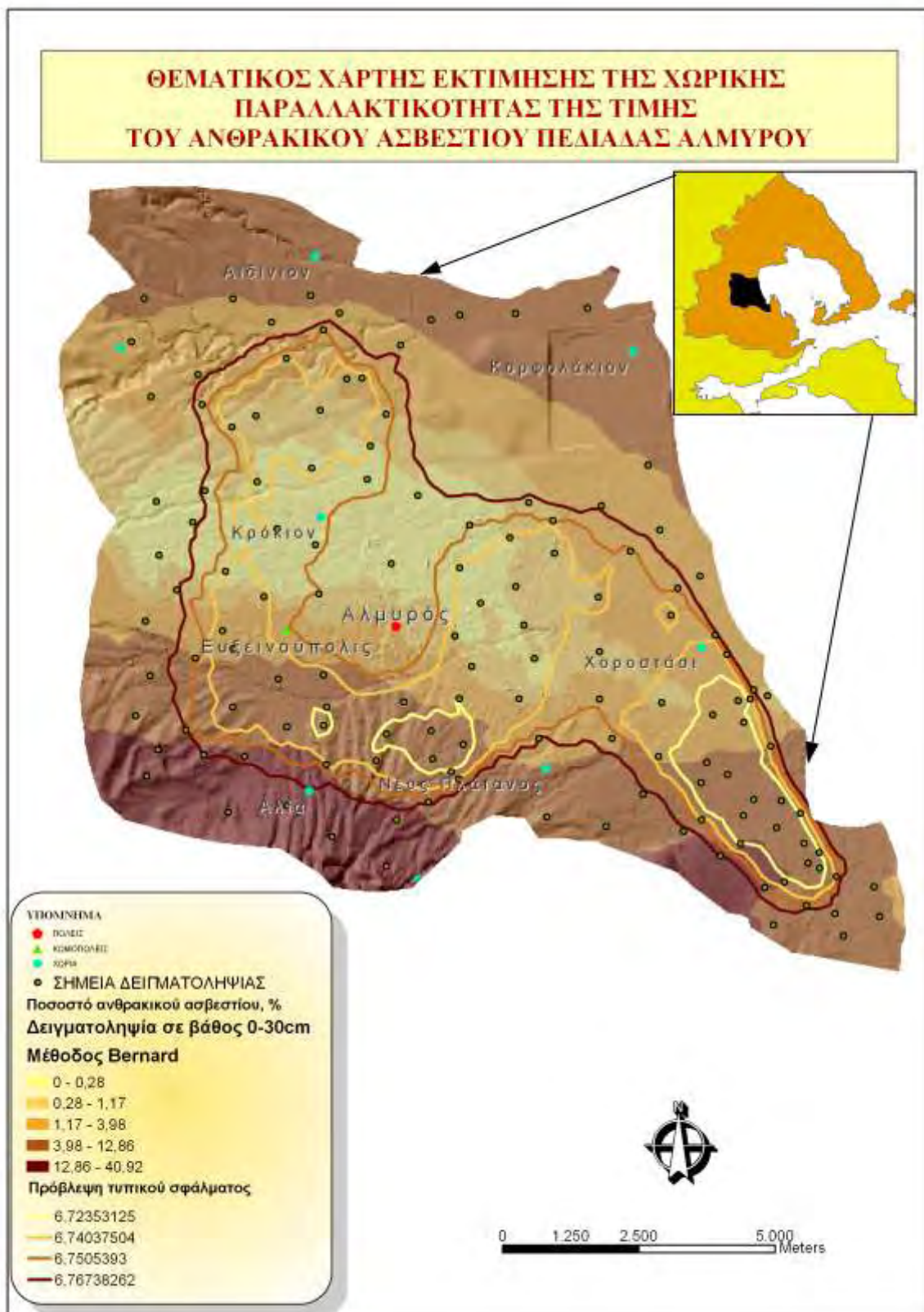




**Εικόνα 40.** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών του  $\text{CaCO}_3$  σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

Για τη δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SPHERICAL του ArcGis 8.3 ενώ λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας της περιοχής δειγματοληψίας το δείγμα θεωρήθηκε ανισότροπο. Επιπλέον, διαπιστώθηκε δευτέρου βαθμού τάση βορειοδυτικής κατεύθυνσης. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του μοντέλου παρουσιάζονται στις εικόνες 39, 40.

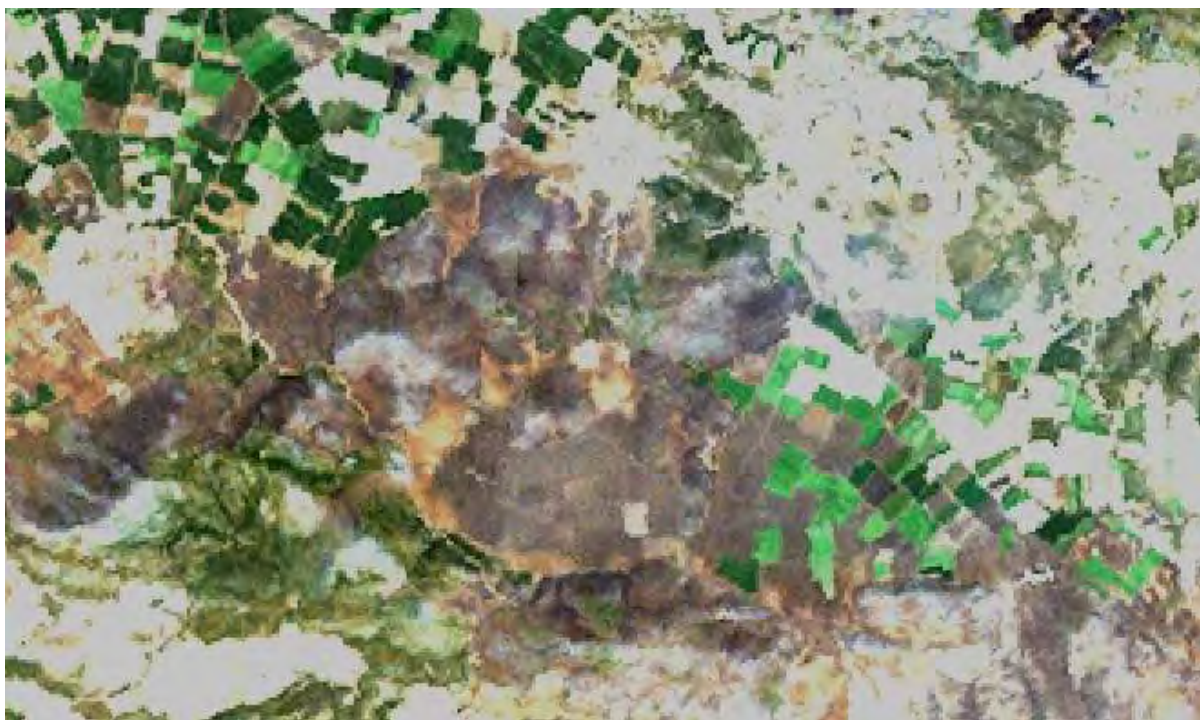
Ο χάρτης οργανικής ουσίας (εικόνα 41) αποκαλύπτει μικρότερα ποσοστά σε περιοχές υπερεκμετάλλευσης των εδαφών σε σχέση με περιοχές που η εκμετάλλευση είναι λιγότερο έντονη. Η γενική εικόνα της πεδιάδας του Αλμυρού είναι μιας περιοχής με χαμηλή οργανικής ουσίας. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνεται από το χάρτη πρόβλεψης καθώς και από τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας τα οποία σε ποσοστό 80% χαρακτηρίζουν εδάφη με χαμηλή και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση των εδαφών από τους γεωργούς καθώς και από τη κακή διαχείριση εδάφους που



**Εικόνα 38.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης  $\text{CaCO}_3$



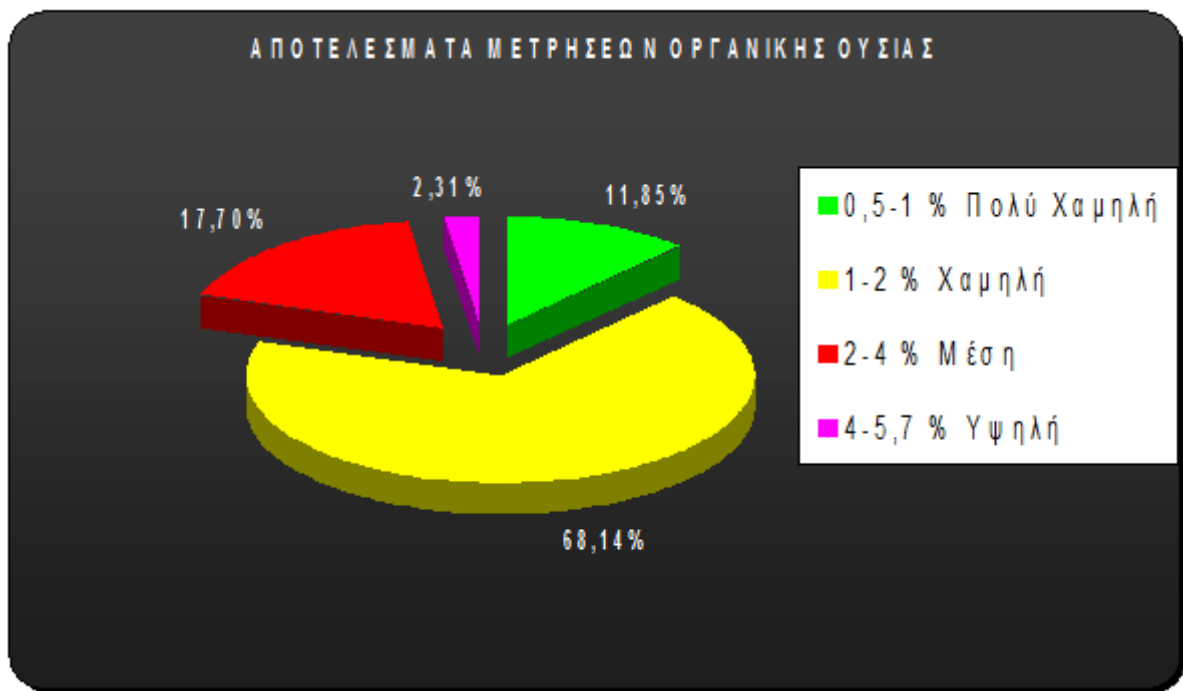
εφαρμόζουν. Όπως βλέπουμε και από τη δορυφορική εικόνα φυτοκάλυψης οι κύριες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι και το σιτάρι ενώ στην εικόνα που είναι μια λεπτομέρεια της δορυφορικής εικόνας φυσικού χρώματος θα δούμε καμένες εκτάσεις που είχαν καλλιεργηθεί με σιτάρι κατά πάσα πιθανότητα. Εξαίρεση στην όλη εικόνα της περιοχής αποτελεί ο βάλτος στην περιοχή του όρμου Σούρπης όπου υπάρχουν μέσες και υψηλές τιμές οργανικής ουσίας όπως καταγράφεται από τον χάρτη πρόβλεψης και επιβεβαιώνεται και από τη δειγματοληψία. Για τη δημιουργία του χάρτη πρόβλεψης οργανικής ουσίας χρησιμοποιήθηκε το SPHERICAL πρότυπο του ArcGis 8.3. Επιπλέον, διαπιστώθηκε δευτέρου βαθμού τάση βορειοδυτικής κατεύθυνσης. Τέλος για κανονικοποίηση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε Log μετασχηματισμός των δεδομένων.



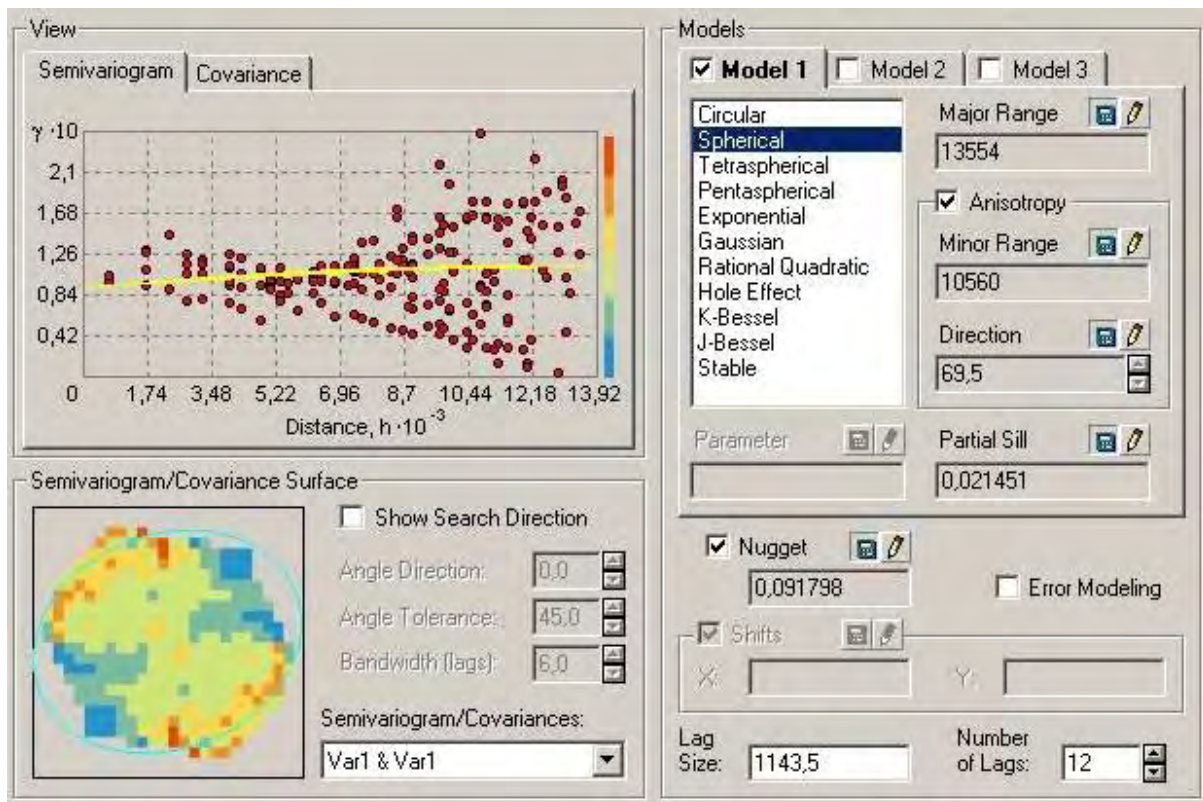
**Εικόνα 42.** Λεπτομέρεια δορυφορικής φυσικού χρώματος με καμένες εκτάσεις.

Προκειμένου να υπολογιστεί η χωροταξική απεικόνιση της κοκκομετρικής σύστασης δημιουργήθηκαν χάρτες εσωεκτίμησης περιεκτικότητας σε άμμο, ιλύ και άργιλο στην πεδιάδα Αλμυρού.

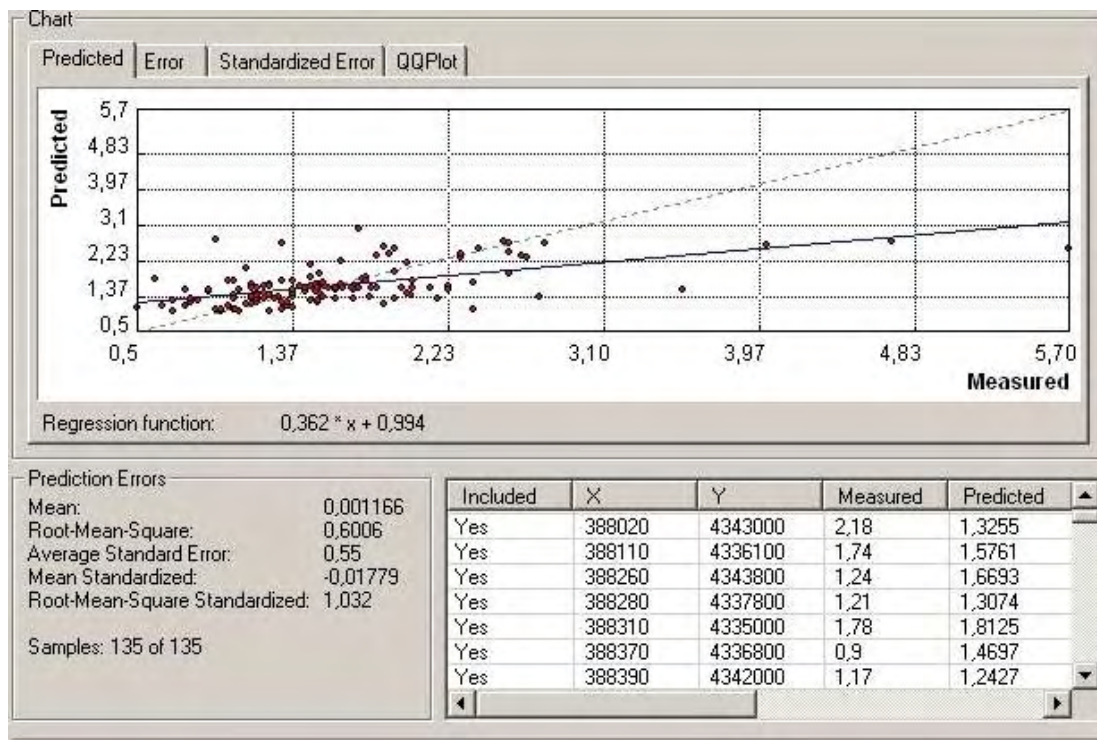
Ο χάρτης πρόβλεψης σε άμμο (εικόνα 110) δείχνει υψηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή γύρω από τον Αλμυρό ενώ η περιοχή γύρω από το Αϊδίνιο έχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα. Για τη δημιουργία του χάρτη πρόβλεψης άμμου χρησιμοποιήθηκε το



**Σχήμα 10.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy.



**Εικόνα 43.** Διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας των τιμών της οργανικής ουσίας σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



**Εικόνα 44.** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση των τιμών της οργανικής ουσίας σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

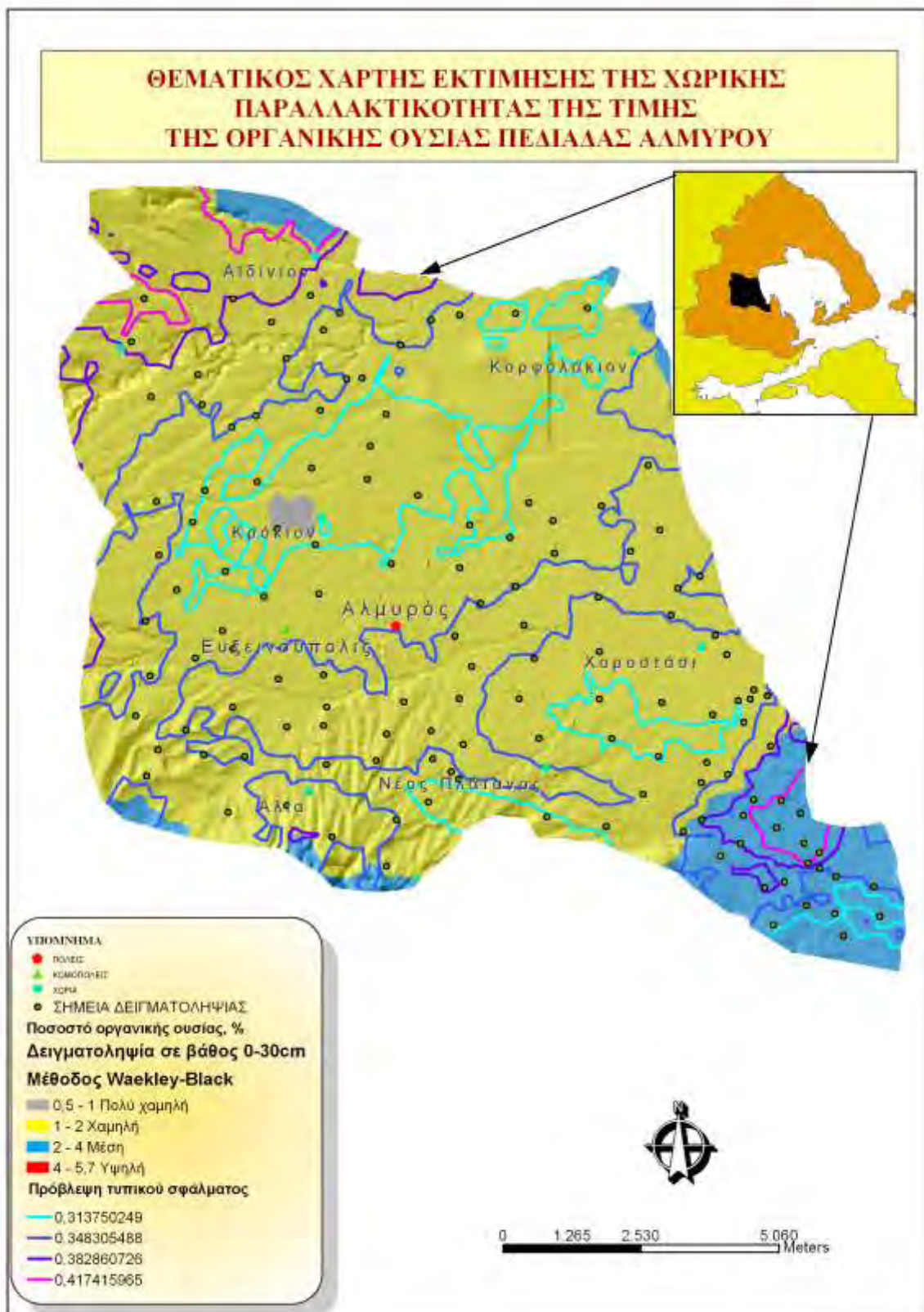
SPHERICAL πρότυπο του ArcGis 8.3. Επιπλέον, διαπιστώθηκε δευτέρου βαθμού τάση βορειοδυτικής κατεύθυνσης. Τέλος για κανονικοποίηση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε Log μετασχηματισμός των δεδομένων.

Ο χάρτης πρόβλεψης σε ιλύ δείχνει σχεδόν ομοιόμορφες συγκεντρώσεις ιλύος σε όλο τον κάμπο του Αλμυρού με εξαίρεση μια περιοχή νότια του Χοροστασίου όπου εκβάλουν ο ποταμός Ξηριάς και τα ρέματα Μαγγανίτσα και Πλατανόρρεμα. Για τη δημιουργία του χάρτη πρόβλεψης ιλύος χρησιμοποιήθηκε το GAUSSIAN πρότυπο ενώ το πρότυπο κρίθηκε ανισότροπο για το συγκεκριμένο τύπο προτύπου.

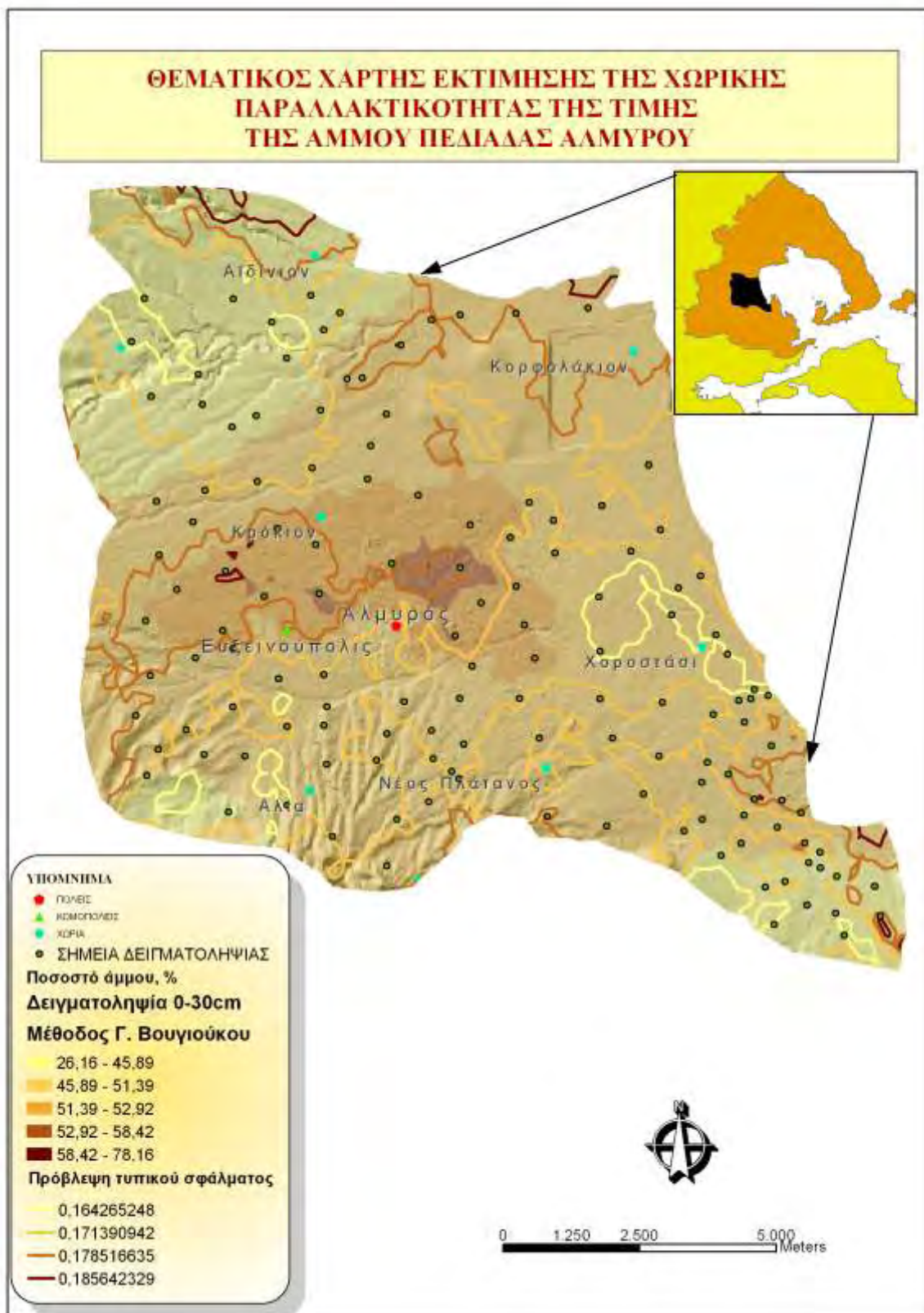
Το ποσοστό περιεκτικότητας σε άργιλο είναι αυτό που επηρεάζει περισσότερο από τα ποσοστά σε άμμο και ιλύ την κατάταξη ενός εδάφους. Ο χάρτης πρόβλεψης σε άργιλο δείχνει μεγάλα ποσοστά αργίλου βορειοανατολικά του χωριού Αϊδινιο. Για τη δημιουργία του προτύπου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε συνδιασμός του GAUSSIAN και SPHERICAL προτύπου.

Από το σύνολο των δεδομένων που περιγράφεται παραπάνω προέκυψε ο χάρτης πρόβλεψης κοκκομετρικής σύστασης (εικόνα 50). Στο χάρτη πρόβλεψης βλέπουμε ότι κυριαρχούν τα αμμοαργιλοπηλώδη (Sandy clay loam) εδάφη αυτό είναι απόλυτα



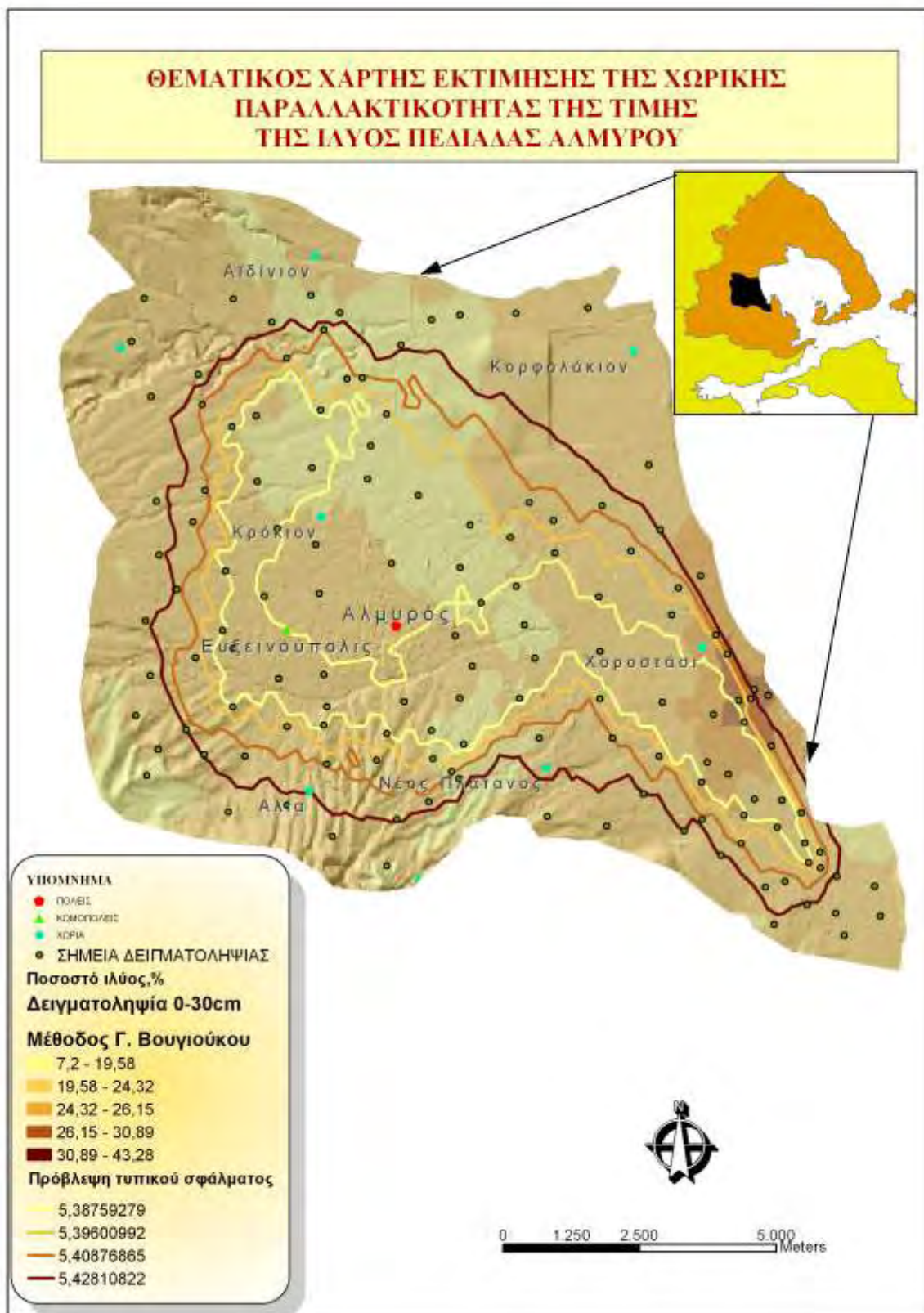


**Εικόνα 41.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας οργανικής ουσίας.

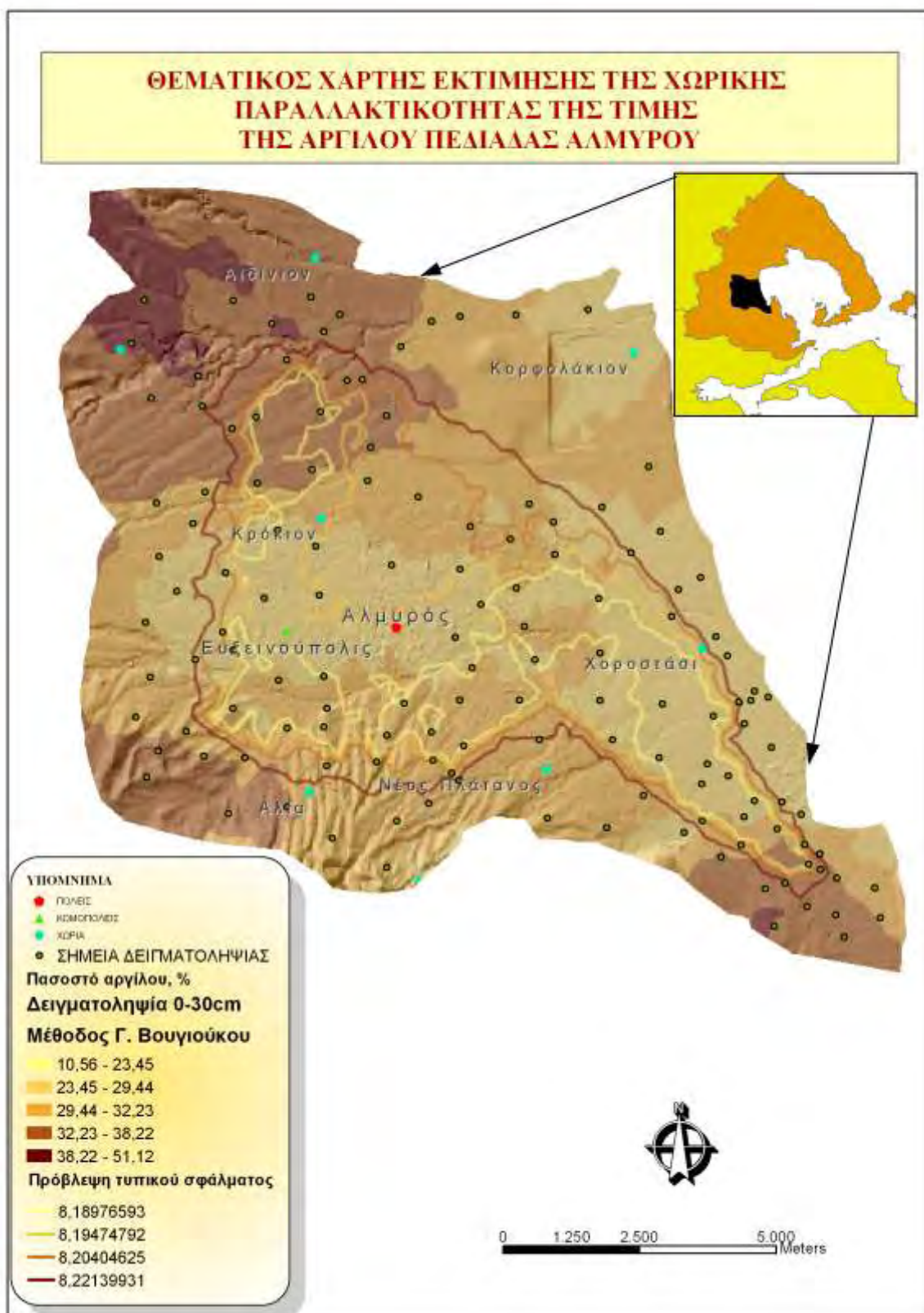


**Εικόνα 45.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας άμμου.

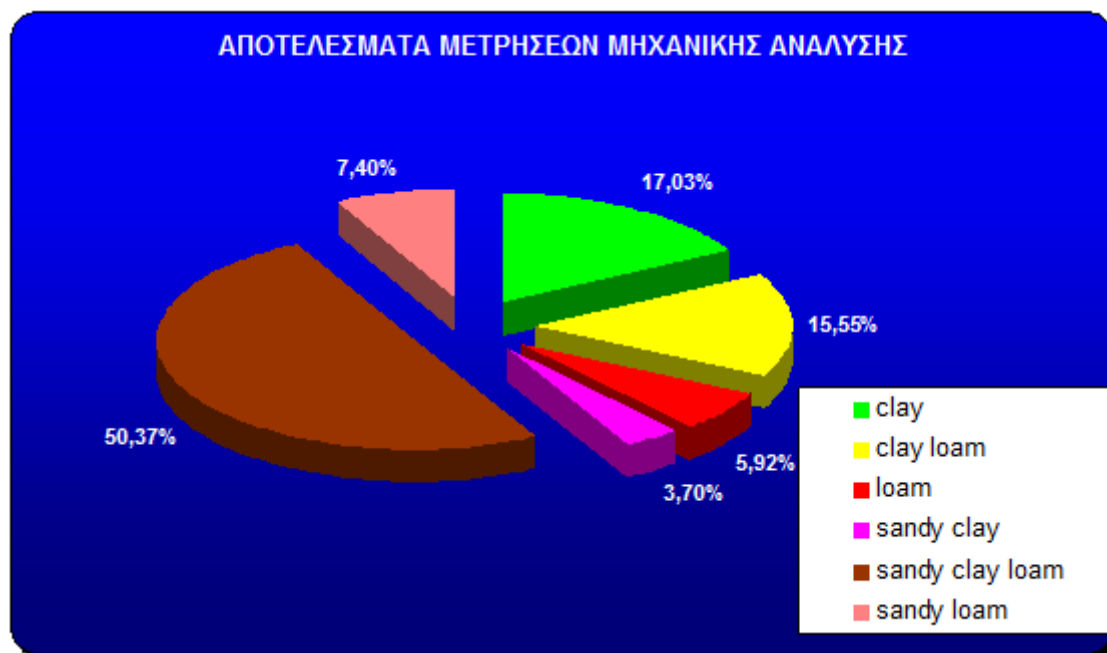




**Εικόνα 46.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας ιλύος.



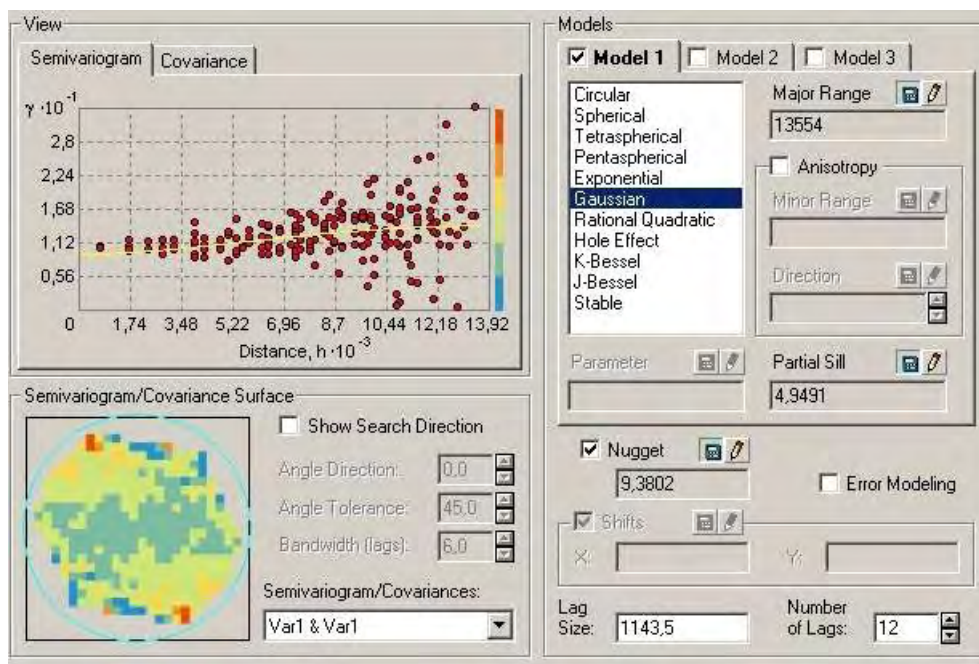
**Εικόνα 47.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης περιεκτικότητας αργίλου.



**Σχήμα 11.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy.

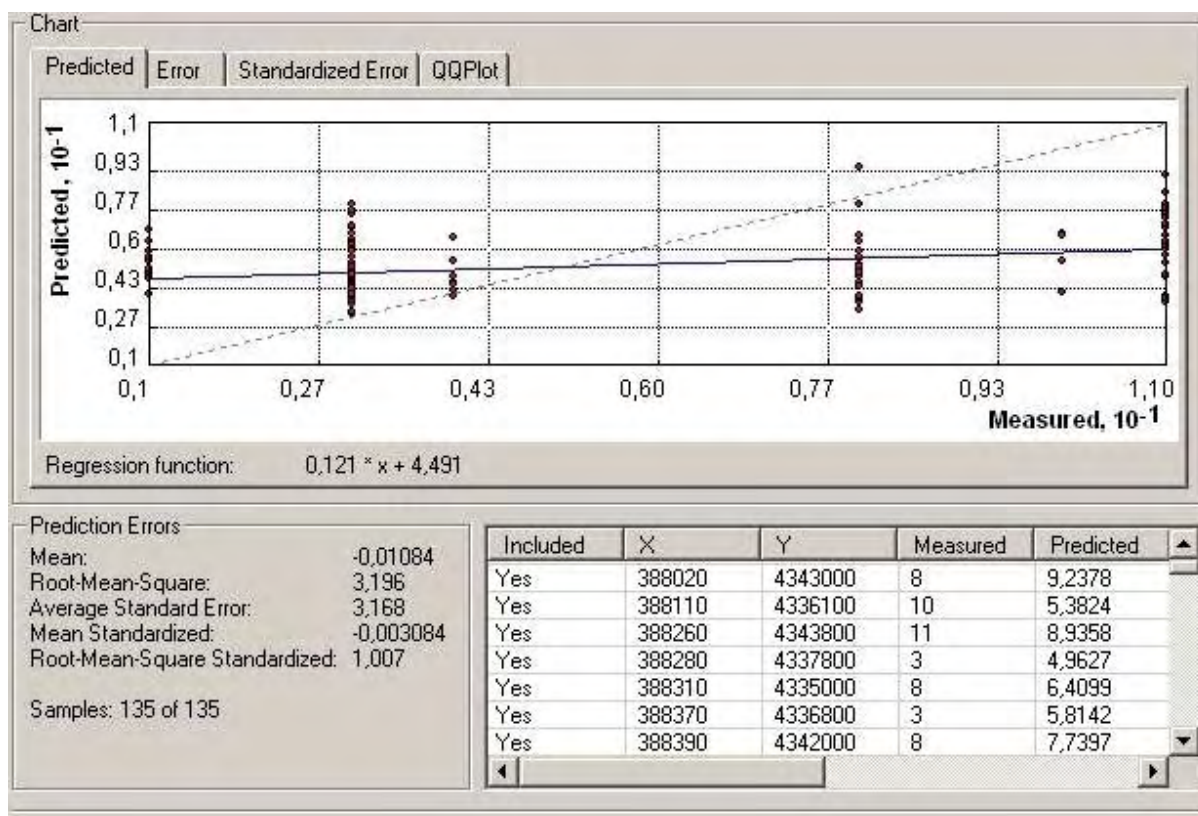
φυσικό αφού πάνω από τα μισά δείγματα εδαφών κατατάχθηκαν στα Sandy clay loam εδάφη.

Στο χάρτη απεικονίζονται και τα clay εδάφη. Για τη δημιουργία του χάρτη πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το GAUSSIAN πρότυπο. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του μοντέλου παρουσιάζονται στις εικόνες 48, 49.



**Εικόνα 48** Διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας της κοκκομετρικής σύστασης σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

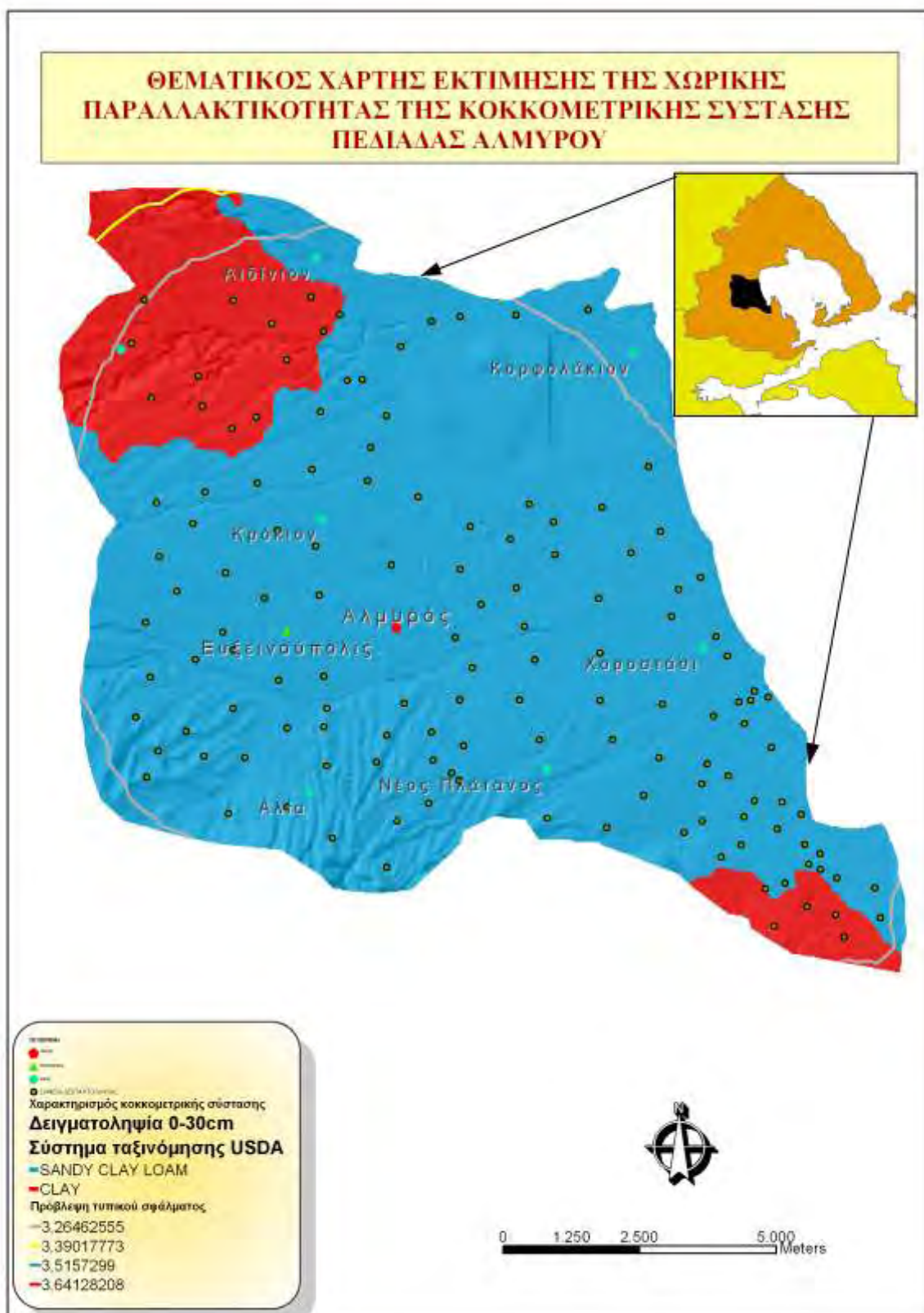




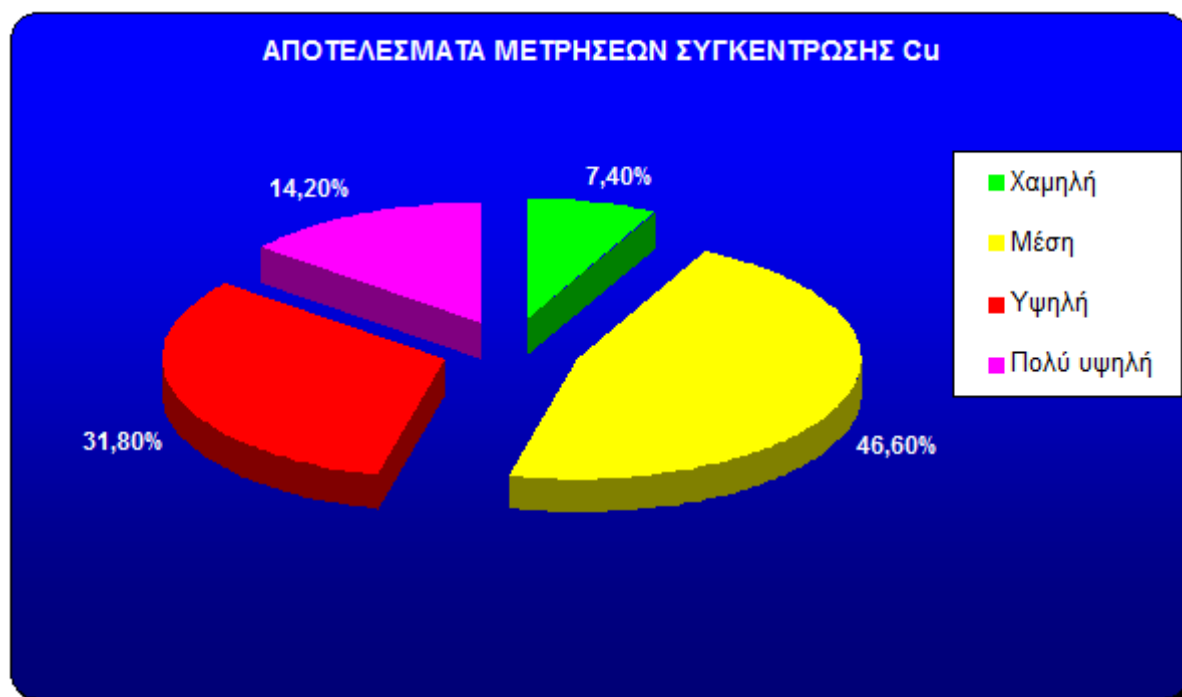
**Εικόνα 49** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της κοκκομετρικής σύστασης σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

Ο χάρτης πρόβλεψης για το Cu (εικόνα 53) δείχνει υψηλές συγκεντρώσεις βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης. Είναι γνωστό ότι ο Cu περιέχεται σε πολλά σκευάσματα που χρησιμοποιούνται στις δενδροκαλλιέργειες. Η περιοχή που υποδεικνύεται από το χάρτη εσωεκτίμησης ότι έχει υψηλές συγκεντρώσεις καλλιεργείται κυρίως με ελιές αλλά και με αμυγδαλιές. Γενικά η πεδιάδα του Αλμυρού έχει μέσες και υψηλές συγκεντρώσεις Cu όπως φαίνεται από το χάρτη και επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας.

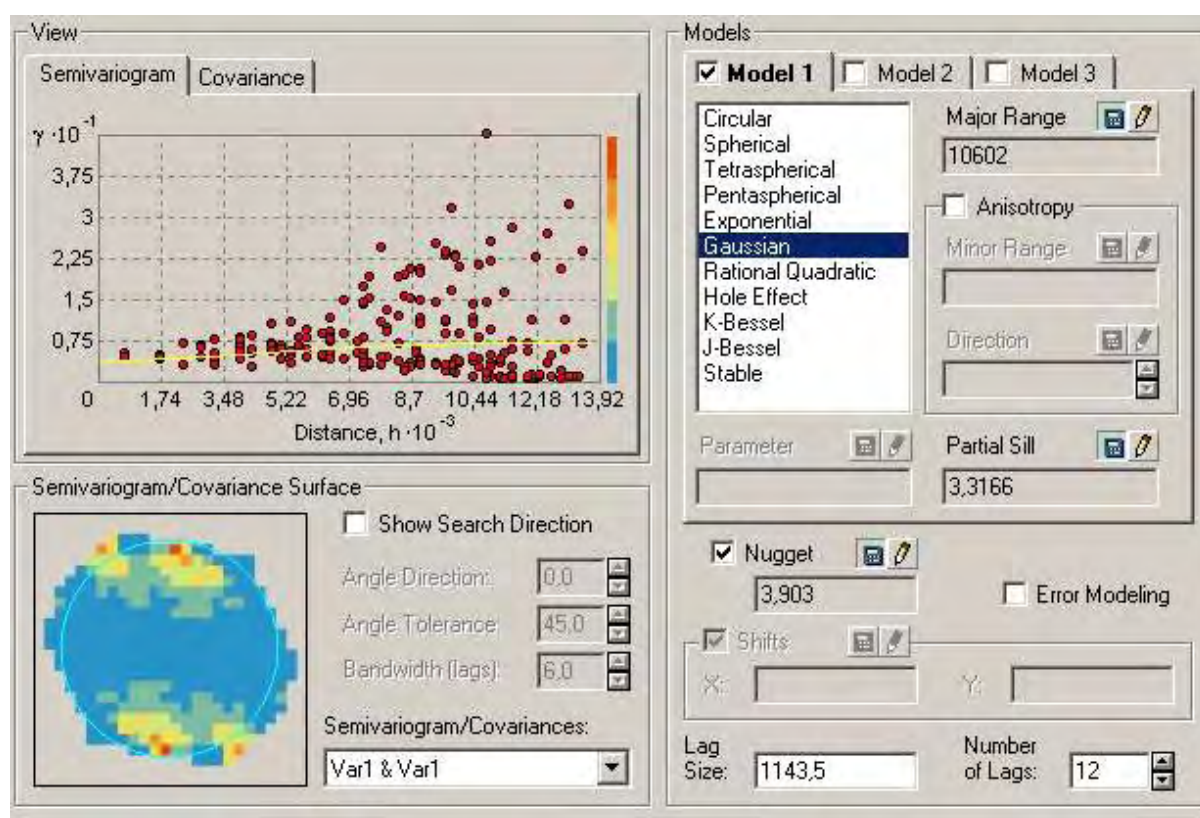
Για τη δημιουργία του προτύπου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το GAUSSIAN πρότυπο. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του προτύπου παρουσιάζονται στις εικόνες 51 και 52.



**Εικόνα 50.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης κοκκομετρικής σύστασης.

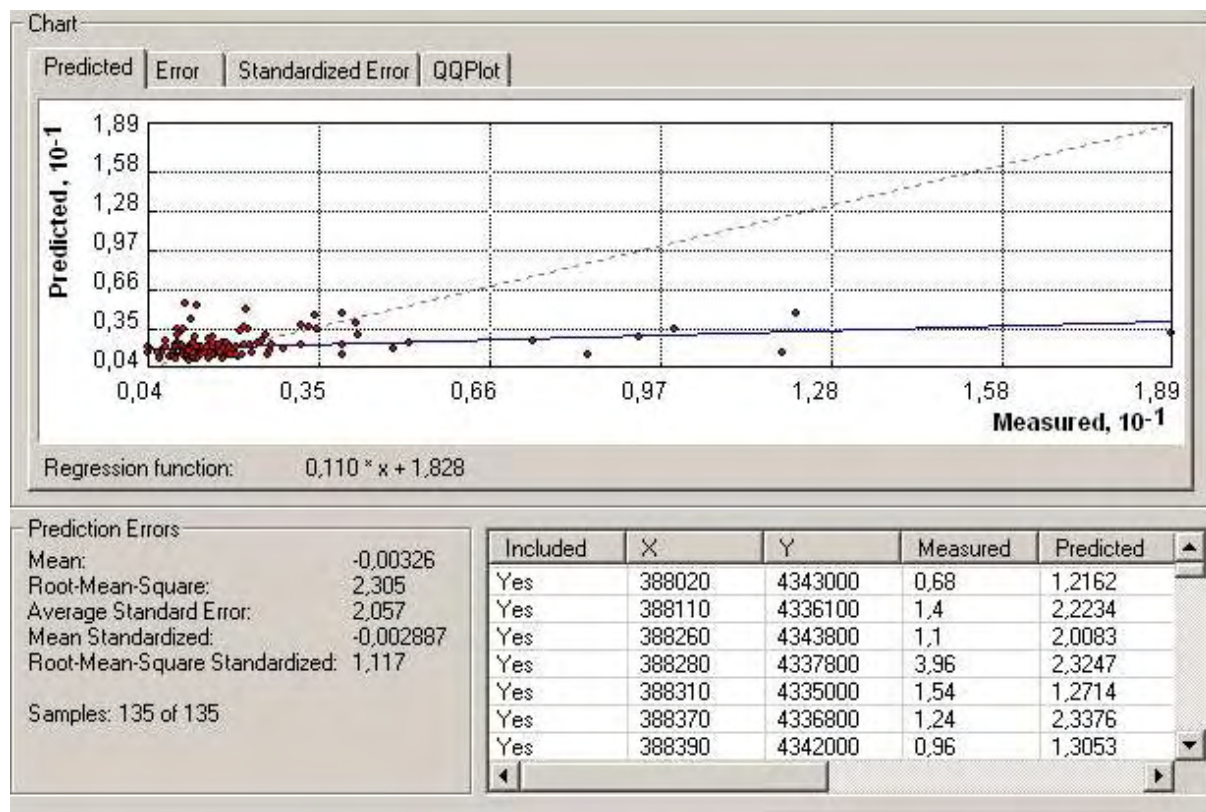


**Σχήμα 12.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy.



**Εικόνα 51.** Διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Cu σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

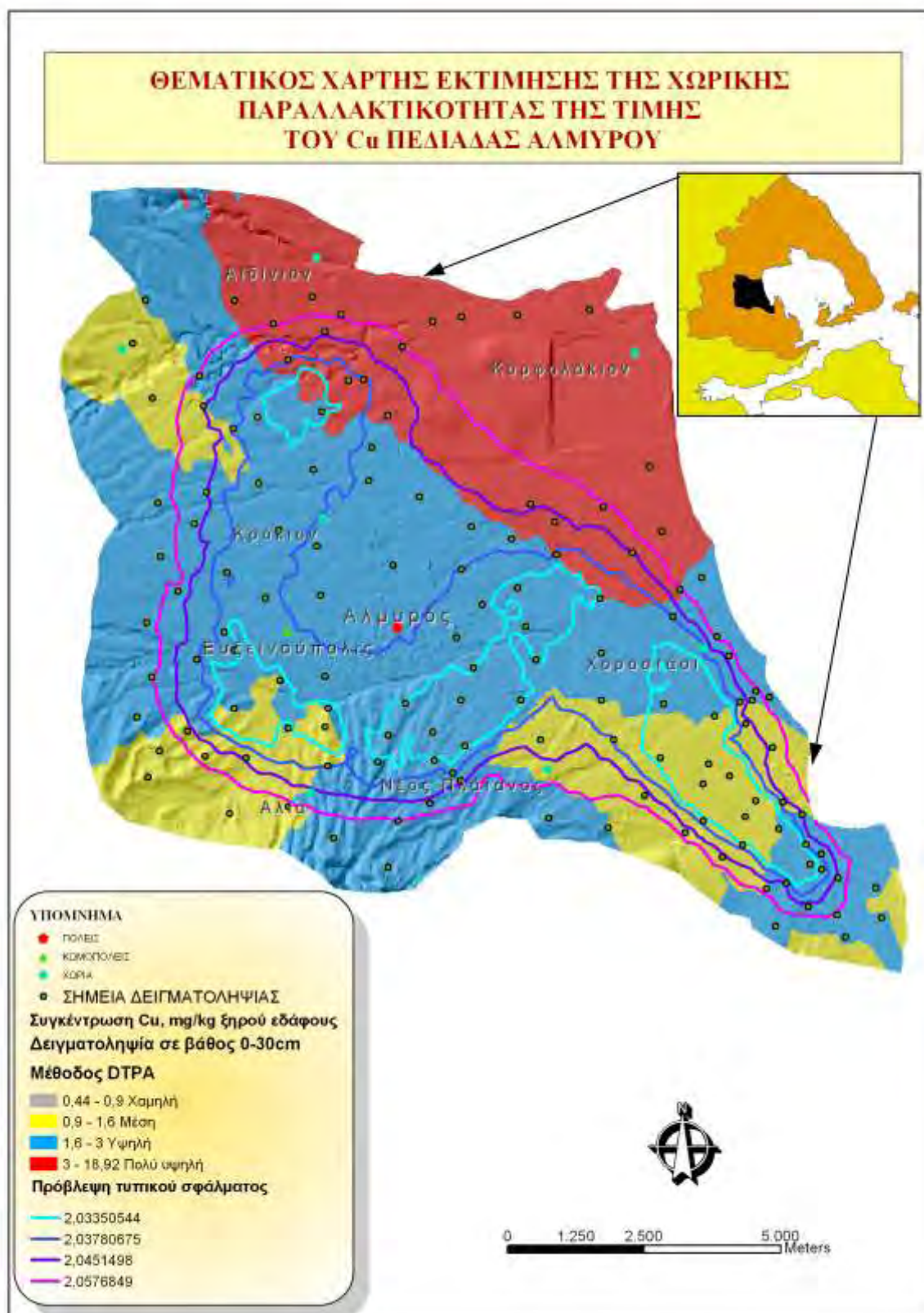




**Εικόνα 52.** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Cu σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

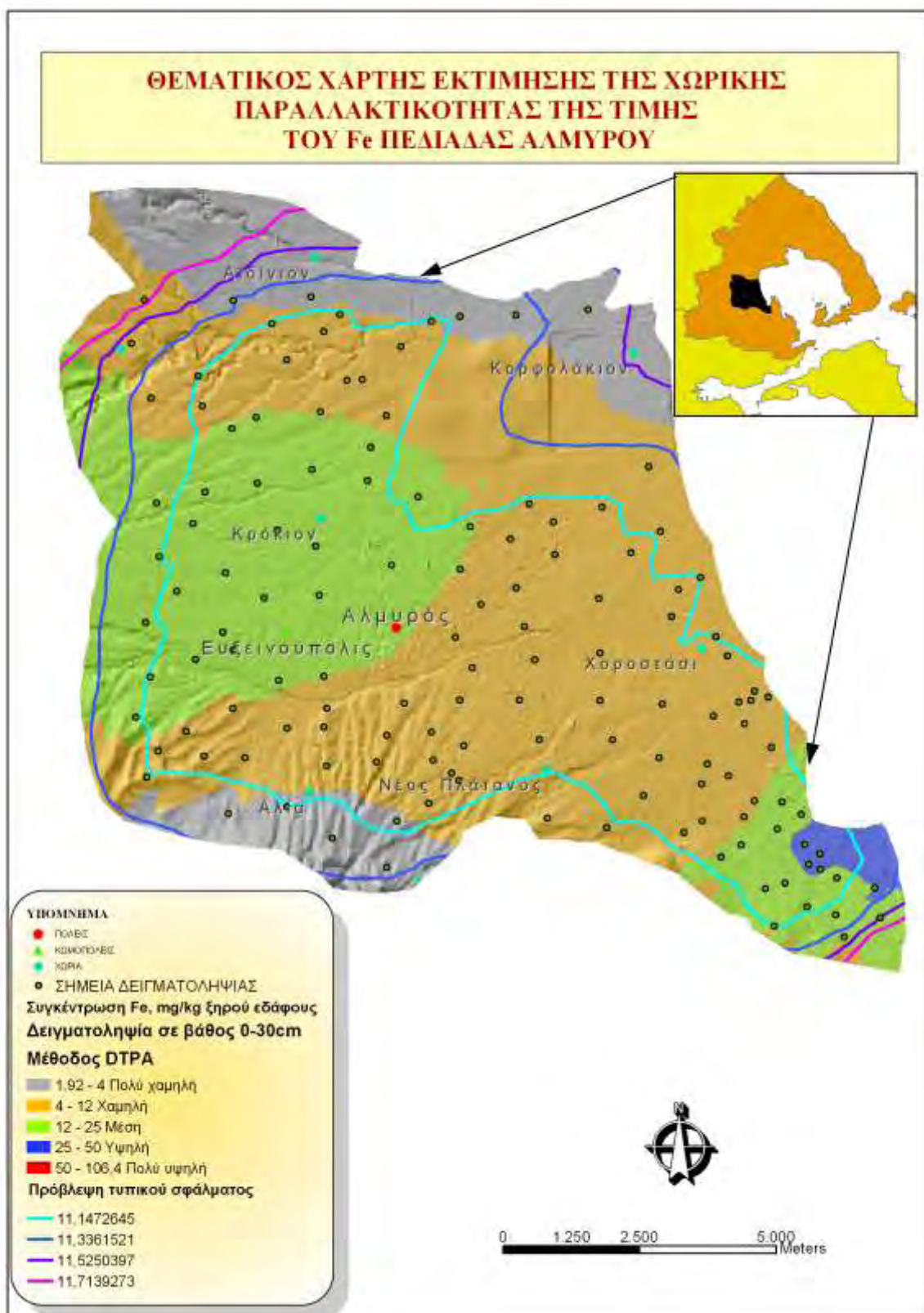
Ο χάρτης εσωεκτίμησης σιδήρου (εικόνα 54) δείχνει χαμηλές και πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου σιδήρου στην πεδιάδα του Αλμυρού. Μέσες συγκεντρώσεις διαθέσιμου σιδήρου διακρίνουμε στην περιοχή του Κρόκιου όπου το pH είναι όξινο. Υψηλές τιμές σιδήρου παρατηρούμε στο βάλτο του όρμου Σούρπης όπου η οργανική ουσία είναι σε υψηλά επίπεδα ενώ στη περιοχή υπάρχουν βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Για τη δημιουργία του προτύπου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το EXPONENTIAL πρότυπο ενώ διαπιστώθηκε δευτέρου βαθμού τάση βορειοδυτικής κατεύθυνσης. Τέλος το πρότυπο κρίθηκε ανισότροπο. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του προτύπου παρουσιάζονται στις εικόνες 55 και 56.

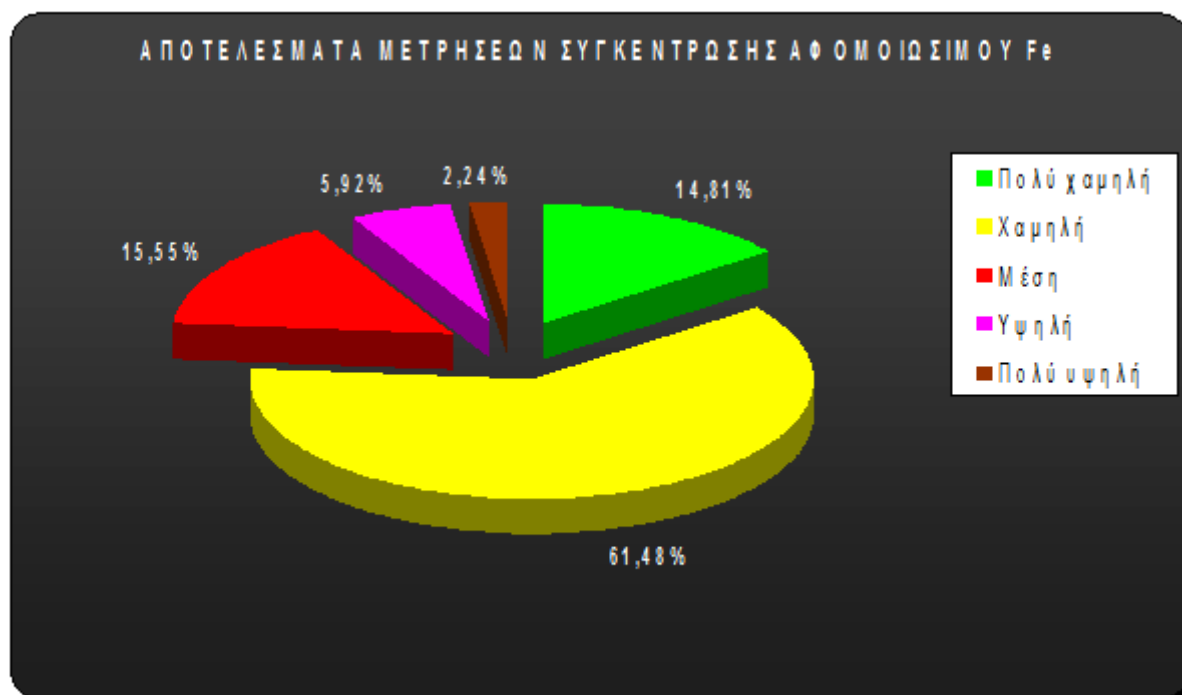


**Εικόνα 53.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Cu

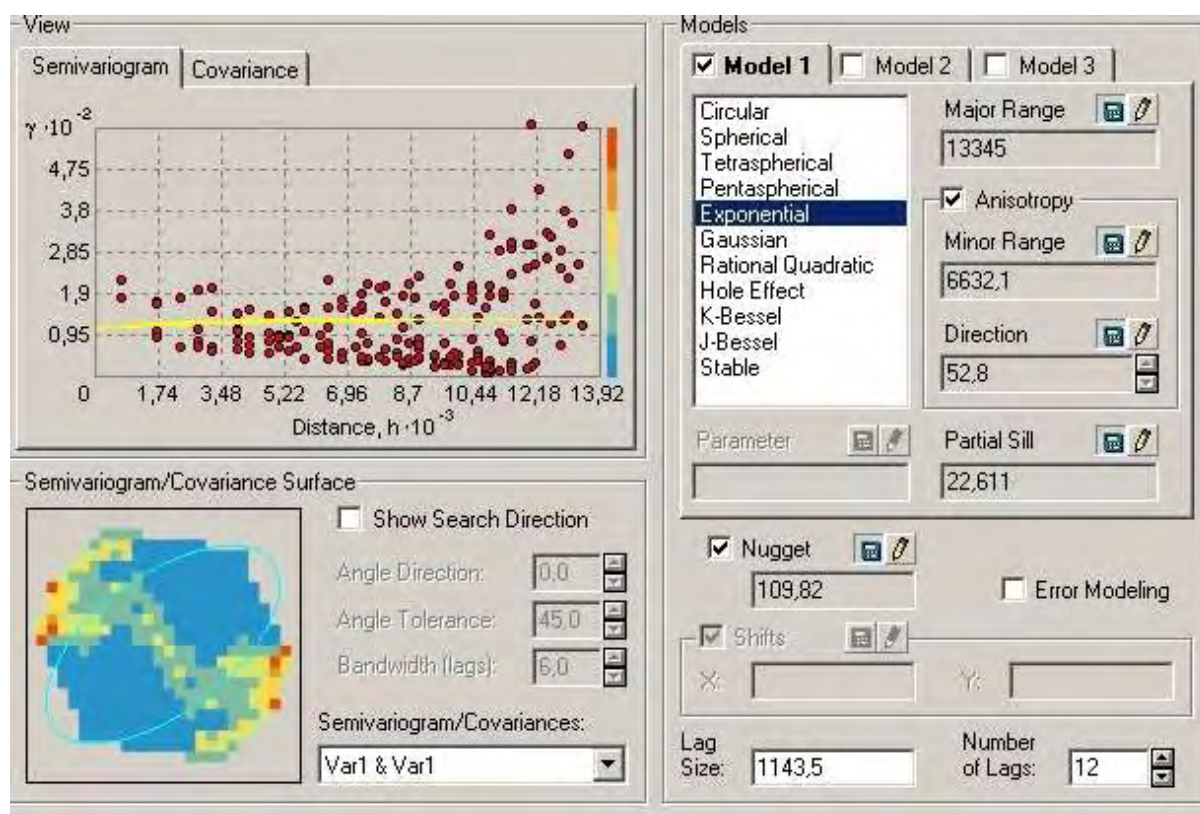




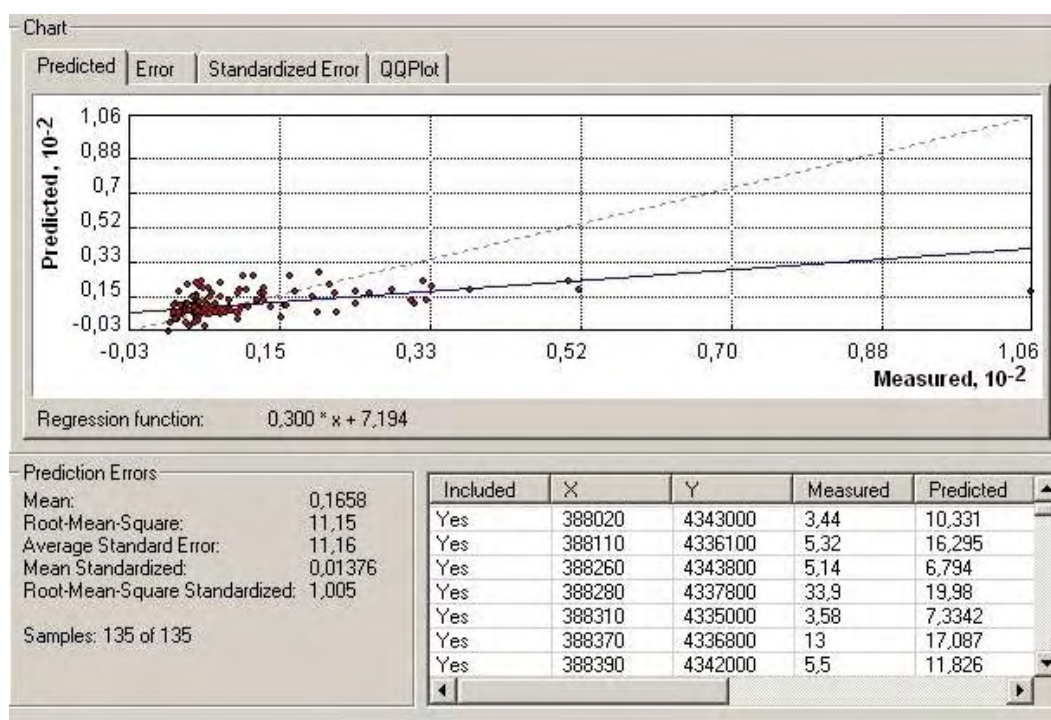
**Εικόνα 54.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Fe



**Σχήμα 13.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy.



**Εικόνα 55.** Διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Fe σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



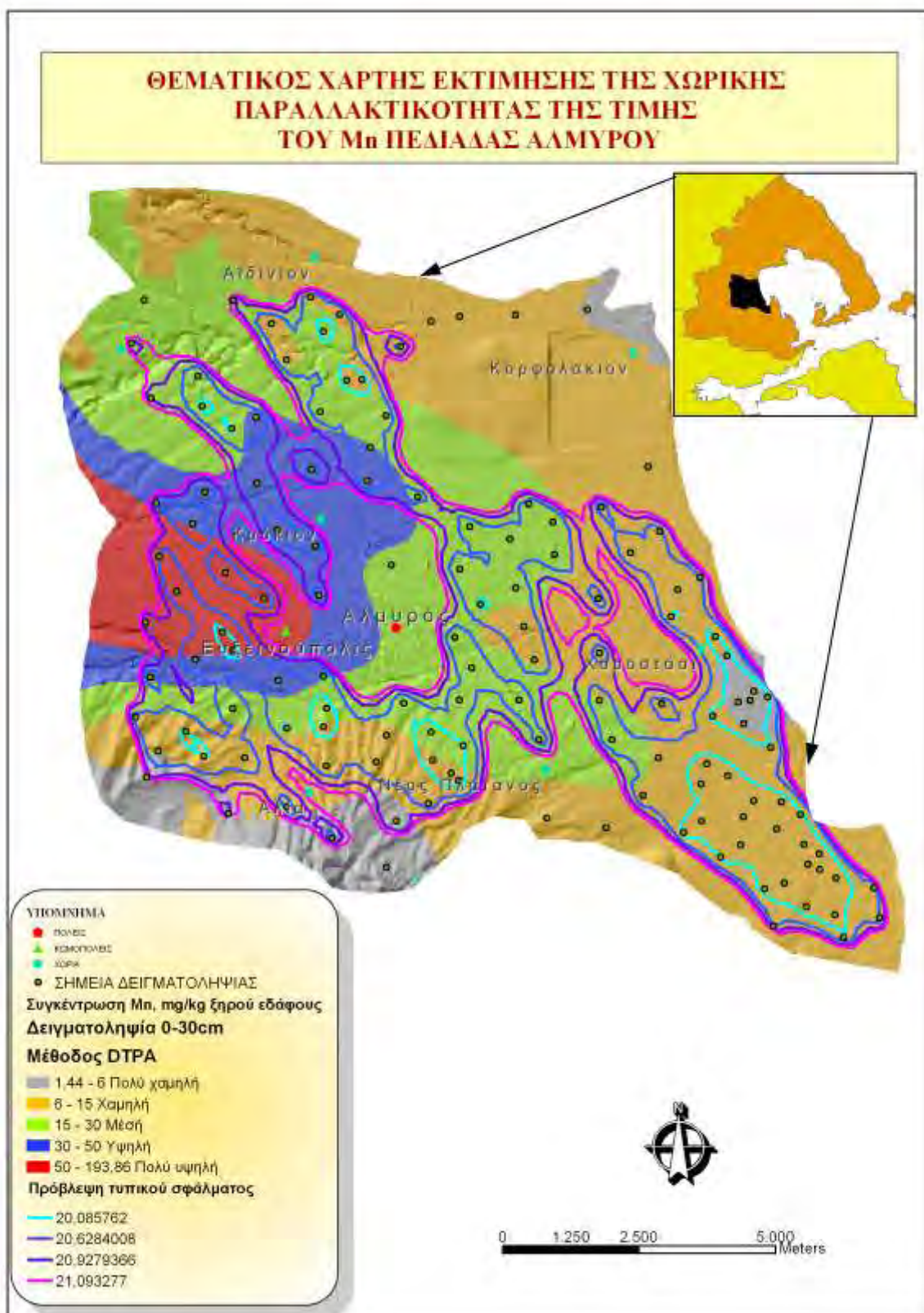
**Εικόνα 56.** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Fe σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

Στην περιοχή του Κρόκιου και της Ευξεινουπόλεως παρατηρούνται υψηλές και πολύ υψηλές τιμές αφομοιώσιμου Mn (εικόνα 57). Αυτό είναι πιθανόν να οφείλεται στα όξινα εδάφη που εντοπίσαμε στην περιοχή. Με εξαίρεση τη συγκεκριμένη περιοχή στην υπόλοιπη περιοχή παρατηρούμε μέσες και χαμηλές τιμές Mn.

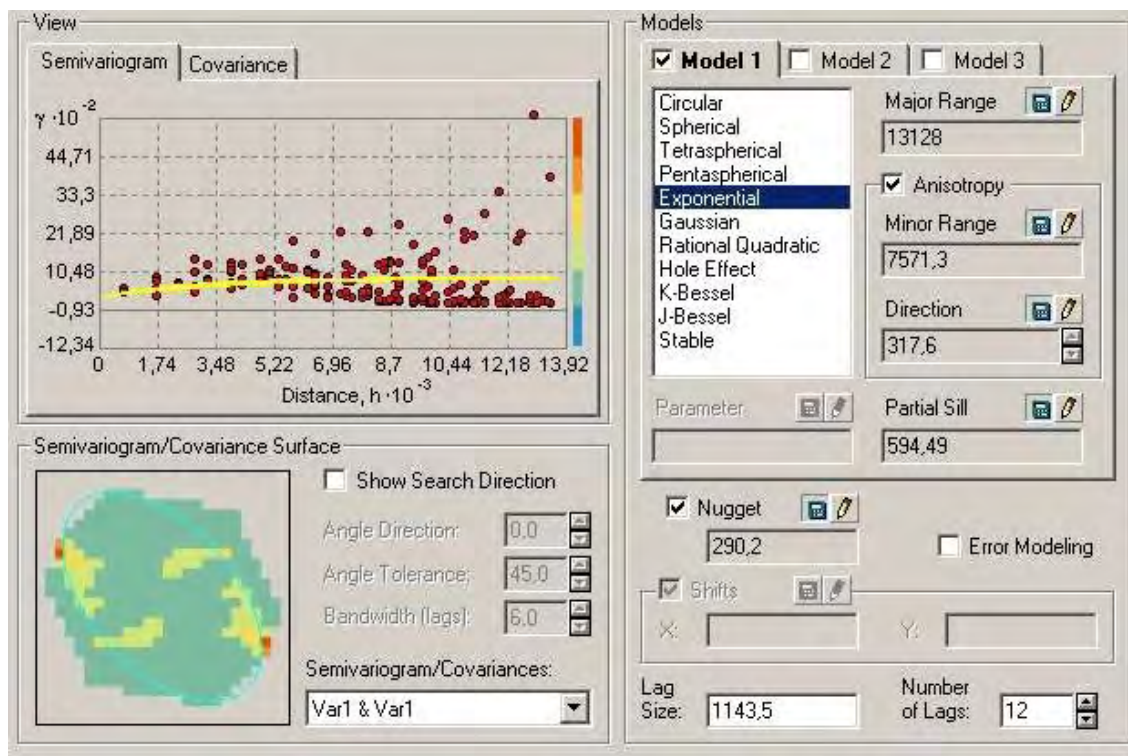
Για τη δημιουργία του προτύπου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το EXPONENTIAL πρότυπο ενώ το πρότυπο κρίθηκε ανισότροπο. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του προτύπου παρουσιάζονται στις εικόνες 58 και 59.

Σε όλη τη περιοχή του Αλμυρού οι τιμές του διαθέσιμου Pb κυμαίνονται από 0,02 έως 3,46 mg/kg ξηρού εδάφους. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στην περιοχή του οικισμού Χοροστάσι καθώς και στον όρμο της Σούρπης όπου υπάρχει πλήθος βιομηχανικών εγκαταστάσεων και μεγάλες δεξαμενές καυσίμων. Για τη δημιουργία του προτύπου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το SPHERICAL ενώ οι τιμές κρίθηκαν ανισότροπες. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του προτύπου παρουσιάζονται στις εικόνες 61 και 62.

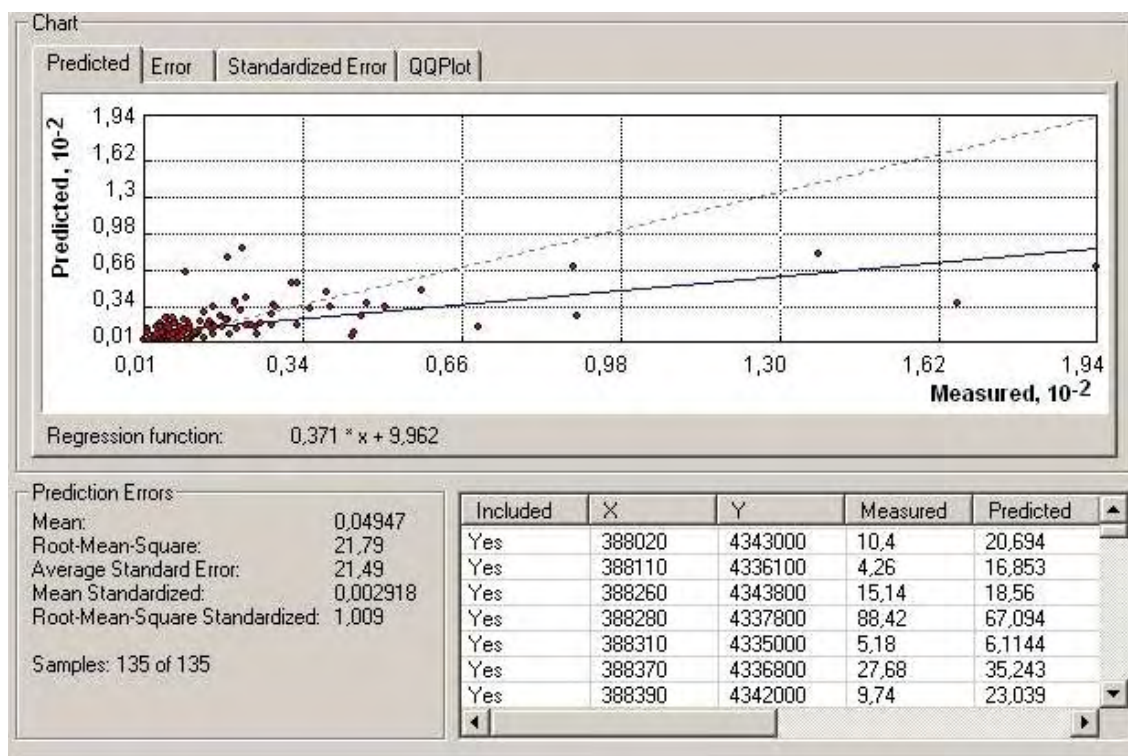




**Εικόνα 57.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Μn

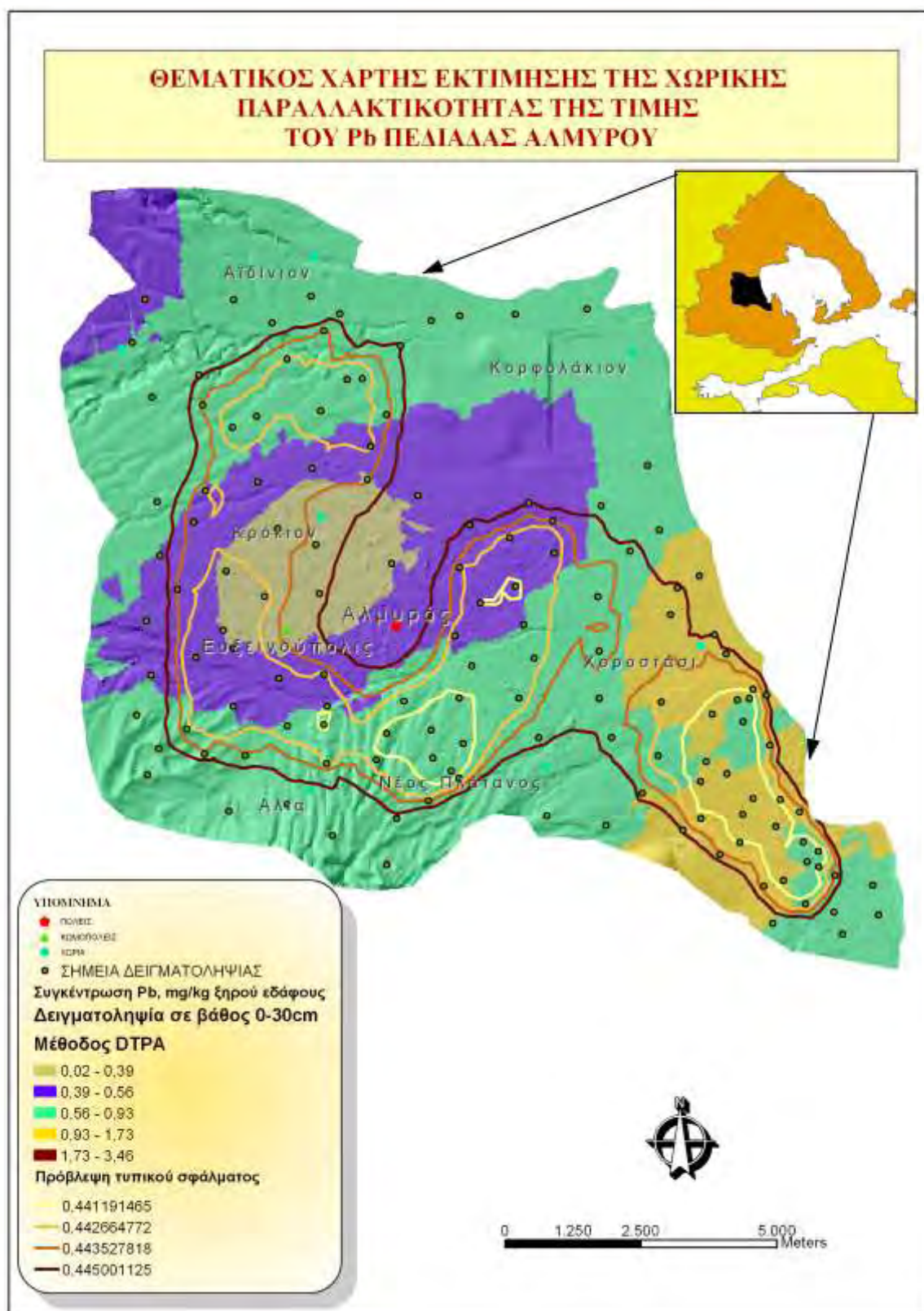


**Εικόνα 58** Διάγραμμα της ημιπαλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Μh σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

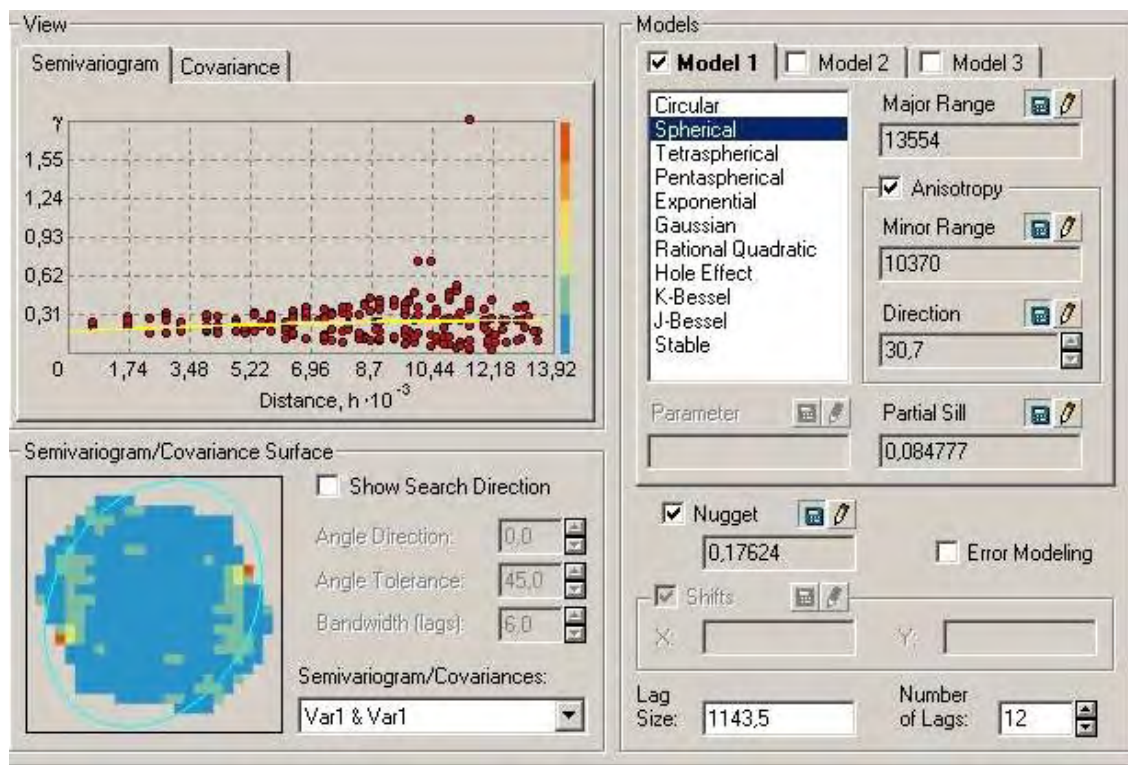


**Εικόνα 59** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Μh σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

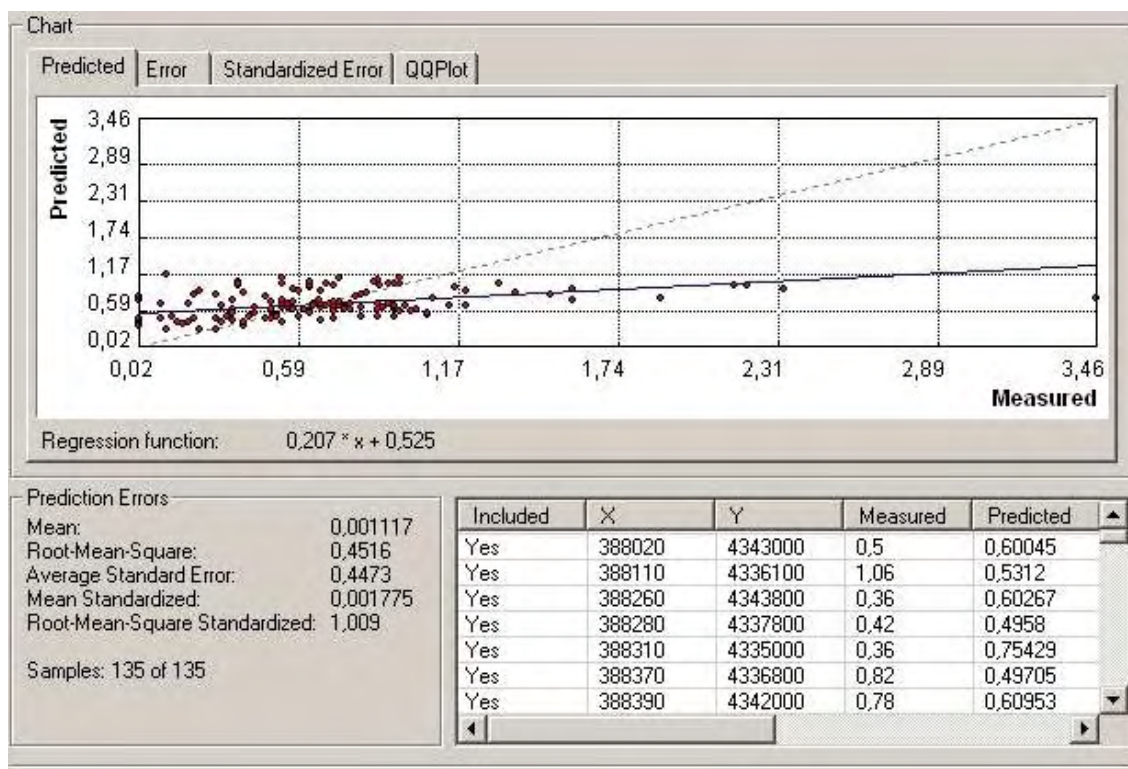




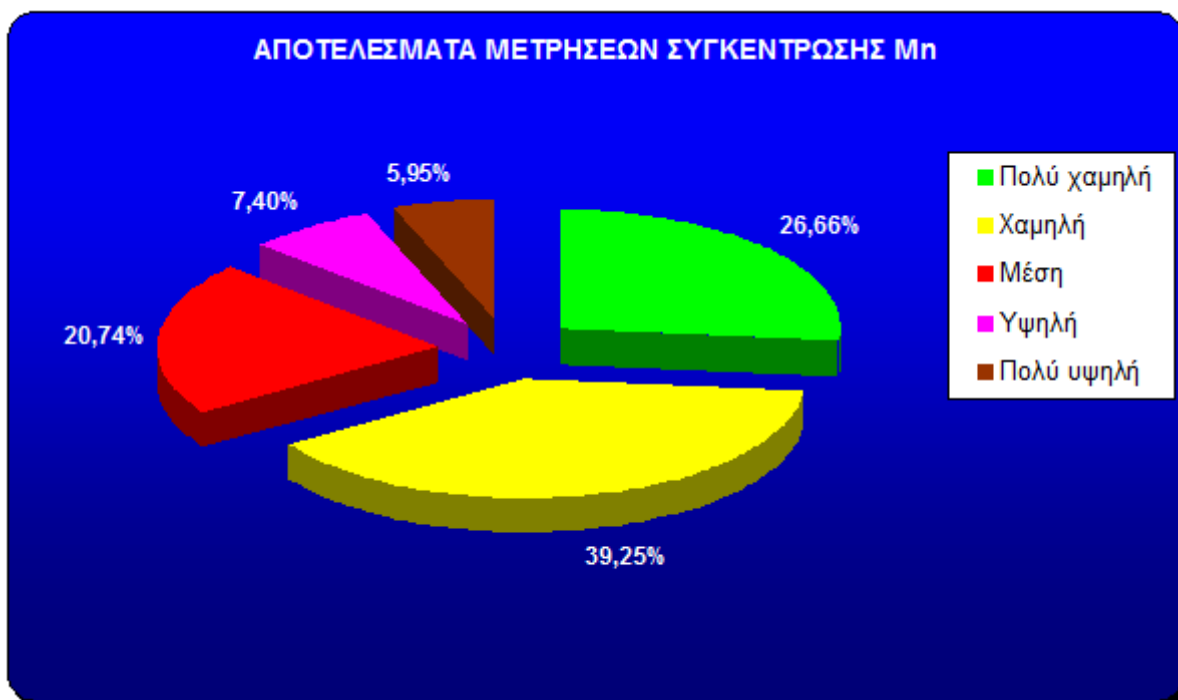
**Εικόνα 60.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Pb



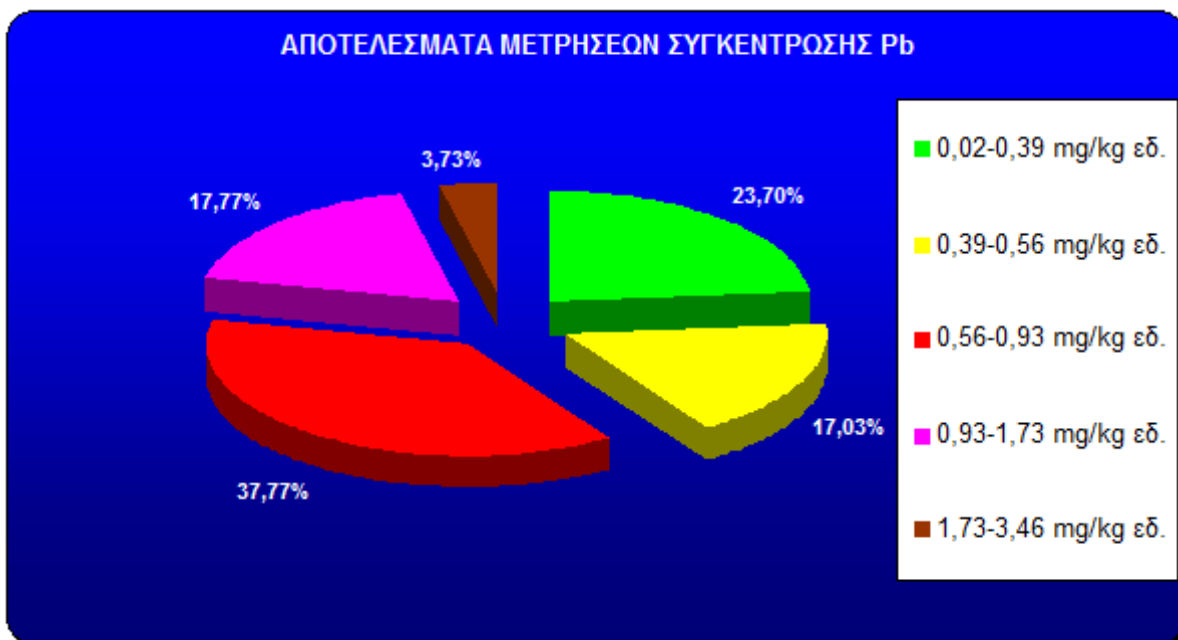
**Εικόνα 61** Διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Pb σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



**Εικόνα 62** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Pb σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



**Σχήμα 14.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy.

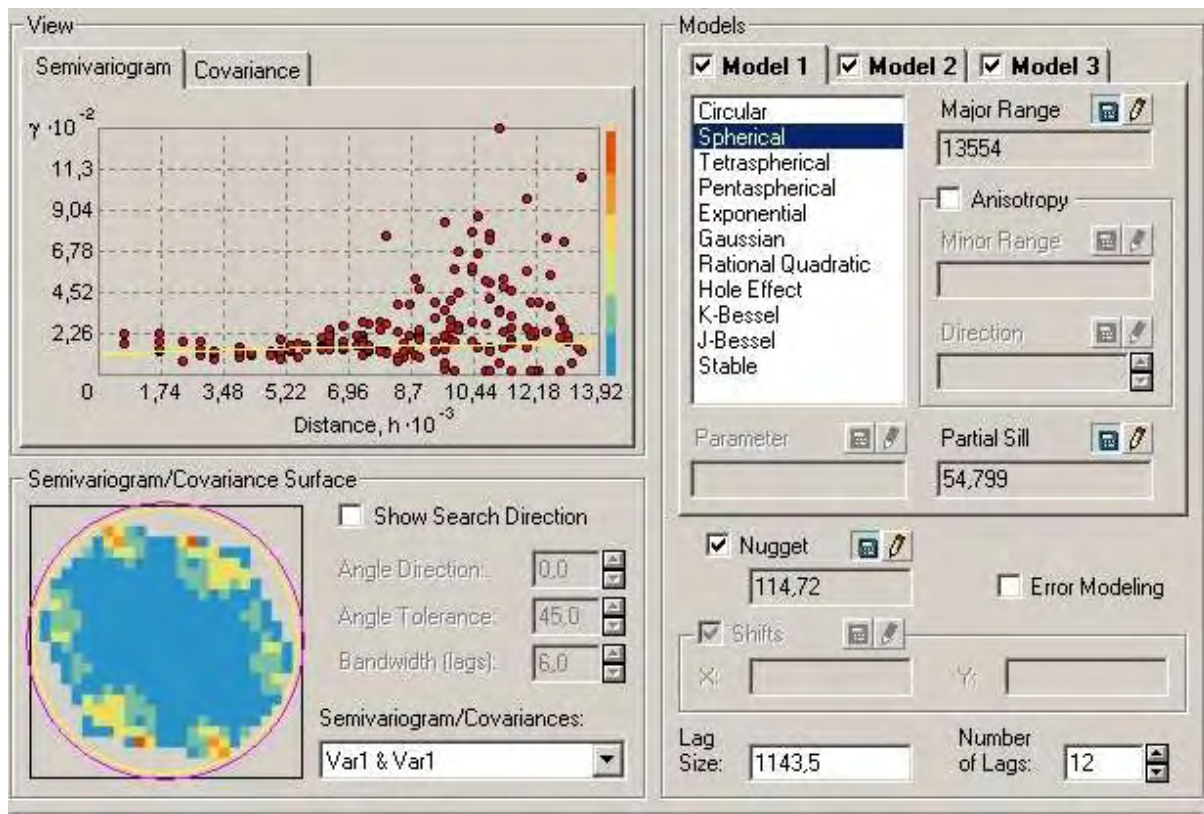


**Σχήμα 15.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα.

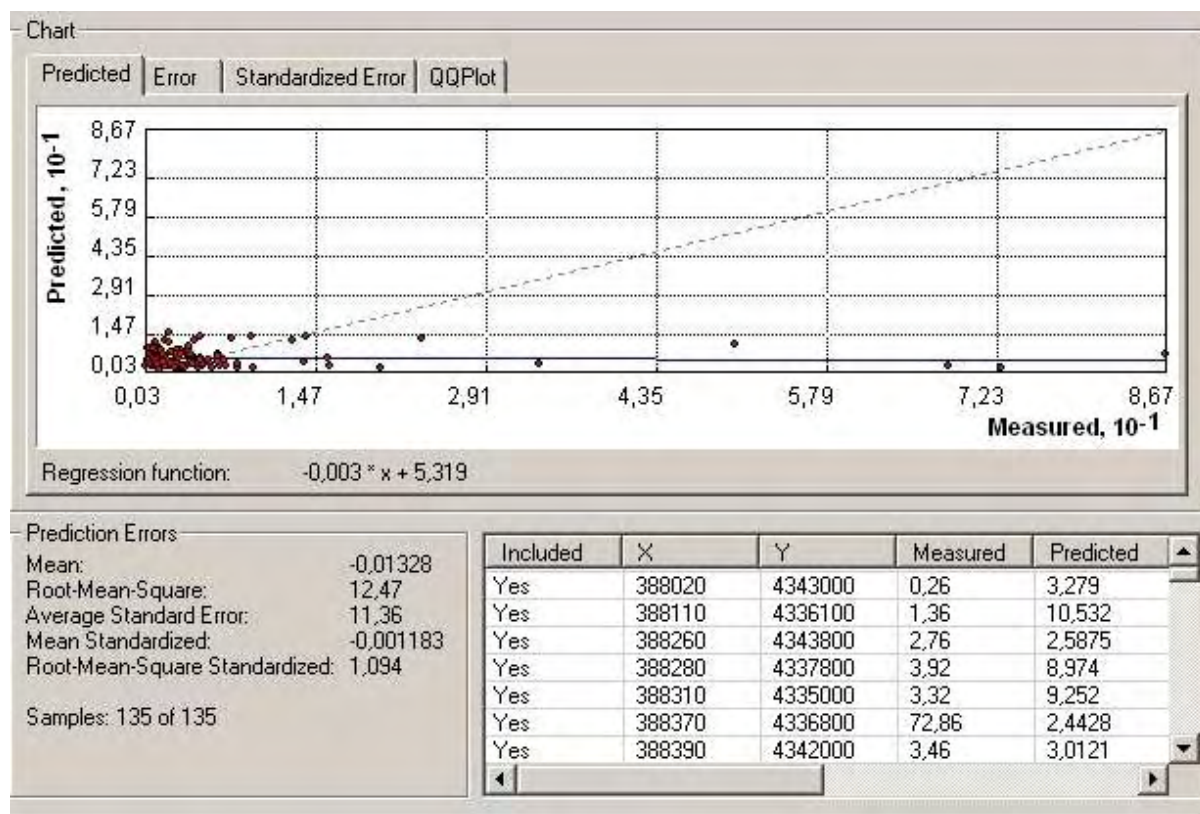


Η πεδιάδα του Αλμυρού χαρακτηρίζεται από μέσες και υψηλές συγκεντρώσεις Zn (εικόνα 65). Πολύ υψηλές τιμές αφομοιώσιμου Zn παρατηρούμε στην περιοχή Κορφολάκιου καθώς και στον όρμο της Σούρπης. Οι δύο περιοχές είναι επιβαρυμένες και με άλλα βαρέα μέταλλα όπως διαπιστώθηκε παραπάνω. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανότατα στο πληθος των βιομηχανικών και άλλων εγκαταστάσεων που υπάρχουν στις περιοχές αυτές.

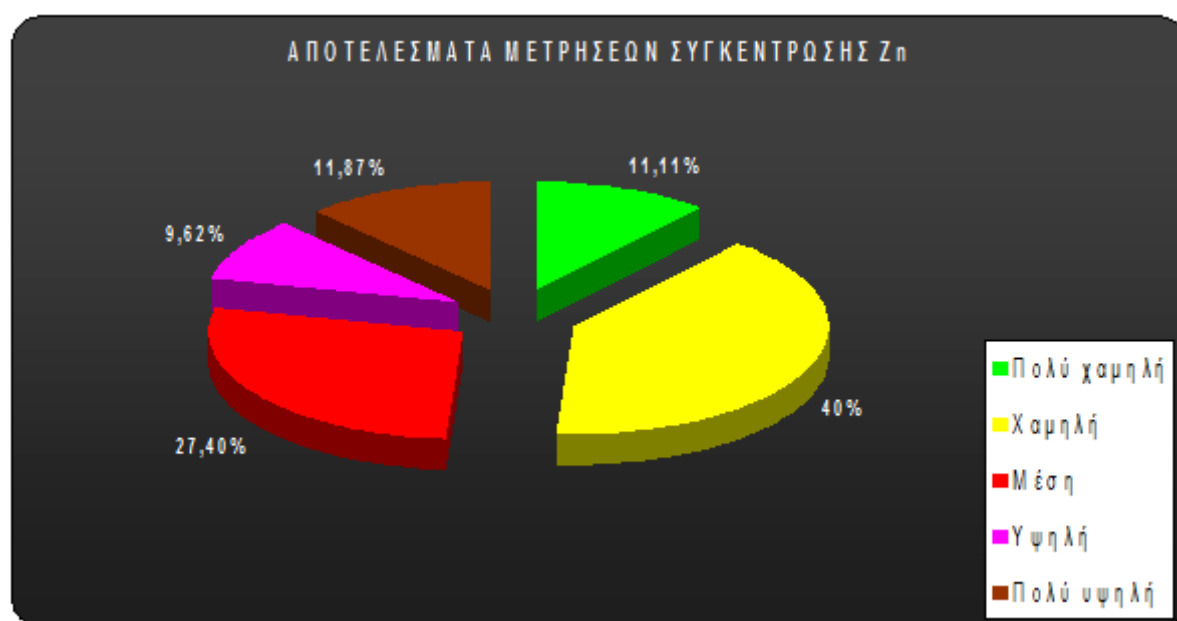
Για τη δημιουργία του προτύπου πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός τριών προτύπων του ArcGis 8.3. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα SPHERICAL, EXPONENTIAL και HOLE EFFECT. Χαρακτηριστικοί πίνακες και στατιστικά του προτύπου παρουσιάζονται στις εικόνες 63 και 64.



**Εικόνα 63** Διάγραμμα της ημιπαραλλακτικότητας της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Zn εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.

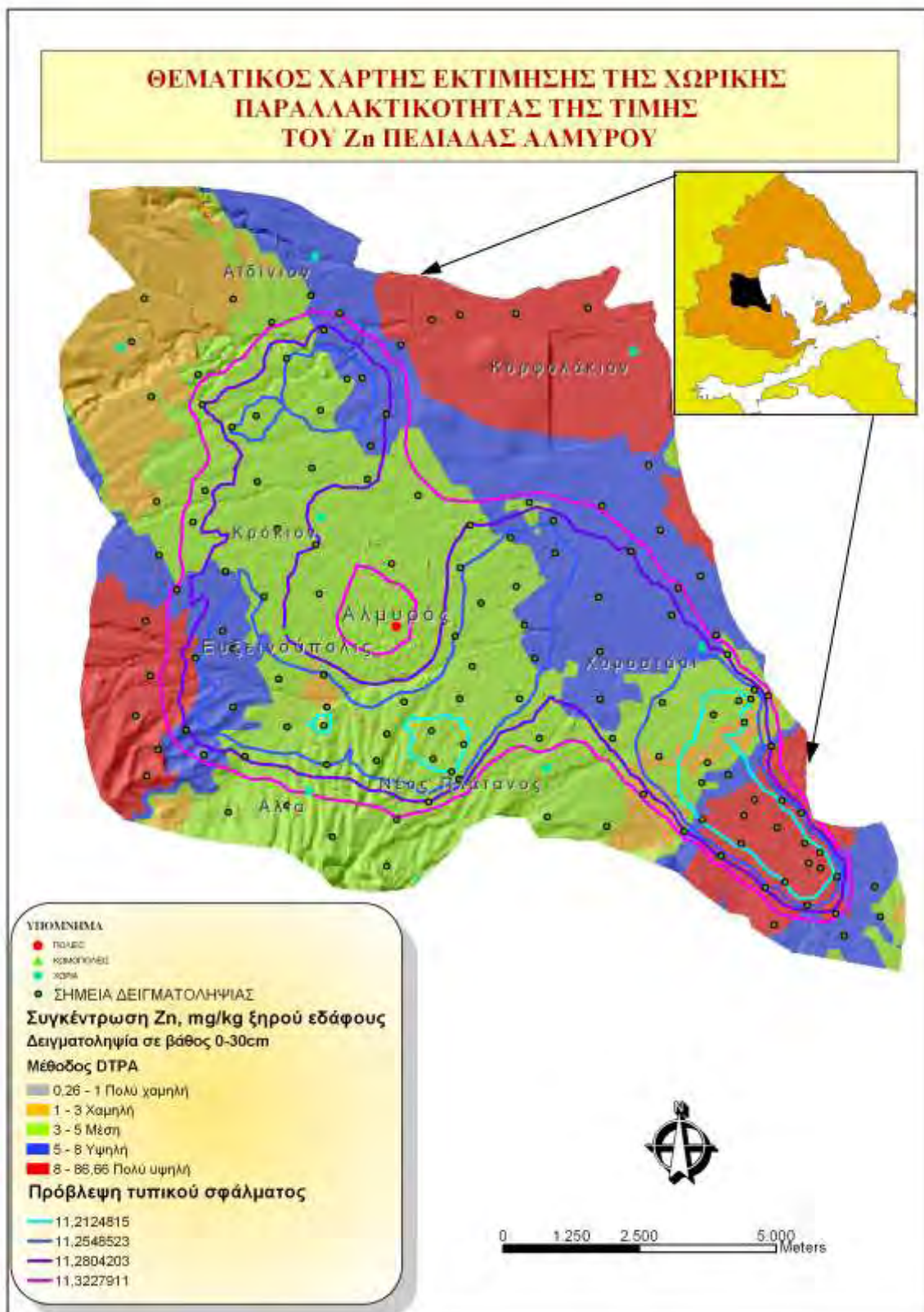


**Εικόνα 64** Έλεγχος της αξιοπιστίας του επιλεγόμενου προτύπου βάση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου Pb σε εδάφη της πεδιάδας Αλμυρού, σε βάθος 0-30cm.



**Σχήμα 16.** Ποσοστά δειγμάτων κατηγοριοποιημένα σύμφωνα με το Soil taxonomy.





**Εικόνα 65.** Θεματικός χάρτης εσωεκτίμησης αφομοιώσιμου Zn

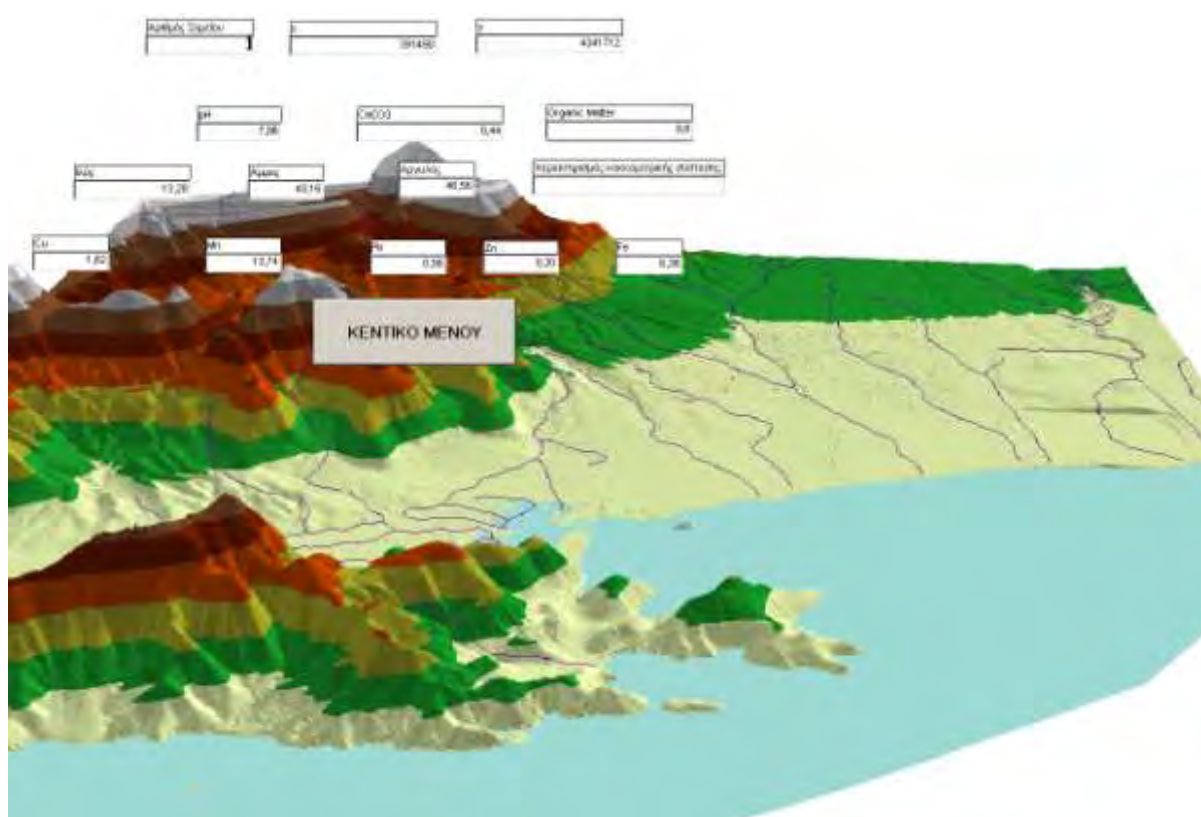
### 3.1.4 Βάση δεδομένων αποτελεσμάτων

Για τις ανάγκες της μελέτης αυτής δημιουργήθηκε βάση δεδομένων στη Microsoft Access για την καλύτερη αξιοποίηση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων καθώς και του συνόλου των δεδομένων. Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε και σχεδιάστηκε αποκλειστικά για την καταχώρηση εδαφολογικών δεδομένων έχει την δυνατότητα με το πάτημα ενός πλήκτρου να:

- ✓ Εμφανίσει τα αποτελέσματα οποιουδήποτε από τα 135 σημεία δειγματοληψίας
- ✓ Εκτυπώσει το σύνολο των αποτελεσμάτων
- ✓ Εκτυπώσει συγκεκριμένα αποτελέσματα κατόπιν υποδείξεως του χρήστη
- ✓ Εμφανίσει το σύνολο των αποτελεσμάτων

Τονίζεται ότι έχει σχεδιαστεί φιλικό προς τον μέσο χρήστη περιβάλλον έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης και από ανθρώπους μη εξοικειωμένους με το περιβάλλον εργασίας της Microsoft Access (εικόνες 66 και 67). Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε να μπορεί να δεχτεί δεδομένα και από άλλες εργασίες και αποτελεί εργαλείο για κάθε εργαστήριο που θέλει να συνδέει τα αποτελέσματα του με γεωγραφικά δεδομένα. Άλλο ένα πλεονέκτημα της βάσης είναι ότι έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μη μπορεί ο χρήστης να διαγράψει ή να αλλοιώσει δεδομένα. Τα δεδομένα μπορούν να αλλάξουν κατόπιν εντολής του διαχειριστή της βάσης. Τέλος σημειώνεται η ύπαρξη ειδικών κανόνων μέσα στη βάση οι οποίοι απαγορεύουν την εισαγωγή λανθασμένων δεδομένων για παράδειγμα συντεταγμένων που δεν ανήκουν στην Ελλάδα ή τιμών που δεν αρμόζουν στις εδαφικές ιδιότητες.

## ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ ΑΧΙΛΛΕΑ ΔΡΟΣΟΥ



Εικόνες 66 και 67 περιβάλλον εργασίας βάσης δεδομένων.

Η εφαρμογή της γεωστατιστικής ανάλυσης για την πρόβλεψη των επιλεγμένων εδαφικών παραμέτρων στην περιοχή μελέτης, μας αποκάλυψε σημαντικές πληροφορίες για την χωρική παραλλακτικότητα των ιδιοτήτων του εδάφους.

Στην πεδιάδα του Αλμυρού υπάρχουν ισχυρώς όξινα αλλά και αλκαλικά εδάφη, τα τελευταία καταλαμβάνουν και μεγαλύτερη έκταση στρεμμάτων.

Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι χαμηλή με εξαίρεση την περιοχή του όρμου της Σούρπης όπου και υπάρχει βαλτώδης περιοχή.

Η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο κυμαίνεται από 0 στην περιοχή της Ευξεινούπολης έως 40% στην περιοχή της Αλίας.

Σχεδόν το σύνολο των εδαφών της πεδιάδας του Αλμυρού χαρακτηρίζονται ως αμμοαργιλοπηλώδη ενώ στην περιοχή του Αϊδίνιου υπάρχουν αργιλώδη εδάφη.

Οι συγκεντρώσεις του διαθέσιμου Cu είναι μέσες έως υψηλές. Οι υψηλότερες βρίσκονται στην περιοχή του Κορφολάκιου όπου υπάρχουν κυρίως δενδρώδεις καλλιέργειες.

Η πεδιάδα του Αλμυρού χαρακτηρίζεται από μέσες και χαμηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Fe με εξαίρεση την περιοχή του όρμου της Σούρπης όπου υπάρχουν ύψηλές συγκεντρώσεις. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στις δεξαμενές καυσίμων και τις άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις που υπάρχουν στην περιοχή. Οι ίδιες εγκαταστάσεις είναι πιθανό να ευθύνονται και για τις υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου Zn που καταγράφηκαν στην περιοχή.

Οι συγκεντρώσεις αφομοιώσιμου Mn είναι κατά κύριο λόγο μέσες έως χαμηλές. Εξαίρεση σε αυτό το κανόνα αποτελούν τα εδάφη της περιοχής της Ευξεινουπόλεως όπου το pH είναι όξινο.

Οι συγκεντρώσεις διαθέσιμου Pb κινούνται από 0,02 έως και 3,46 mg/kg ξηρού εδάφους. Αυξημένες συγκεντρώσεις υπάρχουν στην περιοχή του όρμου της Σούρπης καθώς και γύρω από τον οικισμό Χοροστάσι.

Η πεδιάδα του Αλμυρού χαρακτηρίζεται από μέσες έως και υψηλές συγκεντρώσεις Zn. Πολύ υψηλές τιμές αφομοιώσιμου Zn παρατηρούμε στην περιοχή Κορφολάκιου καθώς και στον όρμο της Σούρπης.

Με τη δημιουργία των θεματικών χαρτών πραγματοποιήθηκε η απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των εδαφών .

Τα δεδομένα αυτά έχουν τη δυνατότητα να ανανεώνονται και να εμπλουτίζονται συνεχώς με νέα στοιχεία. Η βάση δεδομένων που παραδίδεται συνοδευτικά με την παρούσα μελέτη αποτελεί ένα εργαλείο για εδαφολογικά εργαστήρια αλλά και άλλους εμπλεκόμενους φορείς.

Νέες και ίσως πυκνότερες δειγματοληψίες, σε τακτά χρονικά διαστήματα, θα μπορούσαν να επαληθεύουν και να διορθώνουν συνεχώς τους ψηφιακούς χάρτες. Οι χάρτες αυτοί δύνανται να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή σωστής λιπαντικής αγωγής και περιβαλλοντικών προγραμμάτων και γενικά την αειφορική διαχείριση των εδαφών της περιοχής.

Οι θεματικοί χάρτες που απεικονίζουν με λεπτομέρεια τις χημικές και της φυσικές ιδιότητες των εδαφών που είναι χρήσιμες για τους γεωργούς καθώς και για τους γεωπόνους. Οι χάρτες αυτοί δύνανται να αξιοποιηθούν για περιβαλλοντικούς λόγους, να ληφθούν υπόψη για σωστές λιπαντικές αγωγές και να αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη της περιοχής και ελαχιστοποίησης των περιβαλλοντικών κινδύνων από ρυπογόνες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα εδάφη.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abollini O., M. Aceto, M. Maladrino, E. Mentasti, C. Sarzanini and F. Petrella, 2002. Heavy metals in agricultural soils from piedmont, Italy. Distribution, Speciation and chemo metric data treatment. *Chemosphere*, 545-557.
- Αλεξίου, Ι. και Παπαμιχαήλ, Δ., 1996. Εφαρμογή των γεωστατιστικών μεθόδων στη μελέτη της χωρικής μεταβλητότητας της εξαμυσοδιαπνοής αναφοράς. Πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου «Εγγειοβελτιωτικά Έργα – Διαχείριση υδατικών πόρων – Εκμηχάνιση γεωργίας», ΓΕΩ.ΤΕ.Ε., Λάρισα 24-27 Απριλίου 1996, Τόμος Α: 223-245.
- Αλιφραγκής Δ. και Παπαμίχος Ν., 1994. Γονιμότητα Δασικών Εδαφών – Δασικές Λιπάνσεις. Εκδόσεις Δεδούση. Σελ. 123-129 & 140-146.
- Alloway B.J. 1995. Heavy metal in soils. Blackie Academic and professional, London, pp 105-119 & 284-303.
- Anderson, G., 1980. Assessing organic phosphorus in soils. p. 411-431. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Anderson, G. and R. E. Malcolm, 1974. The nature of alkali-soluble soil organic phosphates. *J. Soil Sci.* 25. pp. 282-297.
- Andoniadis, V., and B.J. Alloway. 2003. Evidence of heavy metal movement down the profile of a heavily sludged soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34 (9&10), 1225-1231.
- Appelt, H., Coleman, N.T. and Pratt, P.F. 1975. Interactions between organic compounds minerals and ions in volcanic-ash derived soils: II effectes of organic compounds on the absorption of phosphate. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.* 39, 628-630.
- Αποστολάκης Α., 1998. Συγκρότηση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών για τη λεκάνη του Ανθεμούντα και χρήση του για την υποστήριξη αποφάσεων διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της περιοχής. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Μεταπτυχιακό Τμήμα – Ειδίκευση Εγγείων Βελτιώσεων.



- Babich H. and Stotzky G., 1985. Heavy metal toxicity to microbe mediated ecologic processes : A review and potential application to regulatory policies. *Environmental Research* 36: 111-137.
- Babich H. and Stotzky G., 1978. Effects of Cadmium on the Biota: Influence of environmental factors. *Adv. Appl. Microbiol.* 23. pp 55.
- Bache, B.W., 1964. Aluminum and iron phosphate studies relating to soils. II. Reactions between phosphate and hydrous oxides. *J. Soil Sci.* 15:110-116.
- Βασιλικιώτης, Γ. 1989. Πρόγραμμα Ελέγχου Ποιότητας επιφανειακών υδάτων στη Μακεδονία Θράκη.
- Bagatto G. and Shorthouse J.D., 1991. Accumulation of copper nad nickel in plant tissues and an aspect gall of lowbush blueberry, *Vaccinium angustifolium*, near an ore smelter at Sudbury, Ontario, Canada. *Canadian journal of Botany* 69:1483-1490.
- Bagshaw, R., Vaidyanathan, L.V., and Nye, P.H., 1972. The supply of nutrient ions by diffusion to plant roots on soil. VI. Effects of onion plant roots on pH and phosphate desorption characteristics in a sandy soil. *Plant and Soil*, **37** 627-639.
- Baker D.E. and Senft J.P., 1990. Copper. In heavy metals in soils, p. 179-205.
- Barbarick, K.A., J.A. Ippolite, and D.G. Westfall. 1998. Extractable trace elements in the soil profile after years of biosolids application. *Journal of environmental quality*. 27, 801-805.
- Barber, S.A, 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 21. ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Barcan V., 2002. Leaching of nickel and copper from soil contaminated by metallurgical dust. *Environment International* 28: 63-68.
- Barrow, N.J., 1980b. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Barrow, N.J. 1983. On the reversibility of phosphate sorption by soils. *J. Soil Sci.* 34: 751-758.
- Bell, P. F. and C. L. Mulchi. 1990. Heavy metal concentrations in soils and tobacco. *Tob. Sci.* 34:32-34.

- Berger, K.C. and E. Truog, 1939. Boron determination in soils and plants. *Ind. Eng. Chem. Anal. (II)*. pp. 540-545
- Bhat , .K.K.S and Nye, P.H. 1974. Diffusion of phosphate to plant roots in soil.III. Deprletion aount onion roots without root hairs. *Plant and Soil* 41, 383-394.
- Bhogal A., Nicholson F.A., Chambers B.J., and Shepherd M.A., 2003. Effects of sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: Implications for crop yields and metal uptake. *Environmental Pollution* 12: 413-423.
- Bingham, F.T., 1962. Chemical soil tests for available phosphorus. *Soil Sci.* 94: 87-95. In *Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis*, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.
- Birkeland, W. P., 1974. *Pedology weathering and geomorphological research* . New York, Oxford University Press, 3<sup>rd</sup> ed.
- Birkeland, W. P., (1999). *Soils and Geomorphology*. Third Edition. Oxford University Press, Inc. New York 10016, USA, 430 p.
- Birnie, A.C., and E. Paterson. 1991. The mineralogy and morphology of iron and manganese oxides in an imperfectly-drained Scottish soil. *Geoderma*.50:219-237.
- Blamey F.P., Joyce D.C., Edwards D.G. and Asher C.J., 1986. Role of trichomes in sunflower tolerance to manganese toxicity. *Plant and Soil* 91:171-180.
- Blume H.P. and U. Schwertmann. 1969. Genetic evaluation of profile distributionof aluminum, iron and manganese oxides. *Soil.Sci.SocAm..Proc.* 33:438-444.
- Boardman, N.K., 1975. Trace elements in photosynthesis. In *trace elements in soil-plant-animal systems*. Nicholas, P.J.D. and Egan, A.R. eds. Academic Press. New York. pp119.
- Braude, G.L., A.M. Nash, W.J. Wolf, R.L. Carr, and R.L. Chaney, 1980. Cadmium and Lead content in soybean products. *J. Food Sci.* 45. pp 1187.
- Brun et al., 2001. Evaluation of copper availability to plants in copper contaminated vineyard soils. *Envromental Pollution* 111: 293-302.

- Burgess T.M., Webster R., and McBratney A.B., 1981. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. IV Sampling strategy. *Journal of Soil Science* Vol.32, pp 643-659.
- Burgess T.M., Webster R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I The semi-variogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science* Vol.31, pp 315-331.
- Burrough P.A., 1997. Environmental Modelling with Geographical Information Systems. Proceedings from 4<sup>th</sup> National Conference on GIS Research UK *Innovations in GIS 4*. Taylor & Francis.
- Burgess T.M., Webster R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. II Block kriging. *Journal of Soil Science* Vol.31, pp 333-341.
- Burrough, P.A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford Science Publications.
- Burton, R.G.O., J.B. King, and E. Morgan, 1986. Chlorophyll as an indicator of upper critical tissue concentration of Cadmium in plants. *Water Air Soil Pollut.* 27 pp 147.
- Cary, E. E., Allaway, W.H. and O. E. Olson, 1977. *J. Agric. Fd. Chem.* 25. 305-309.
- Cathcart.B.J., 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 1. ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Catt, J.A., Howse, K.R., Farina, R. Brockie, D., Todd, A., Chambers, B.J., Hodgkinson, R., Harris, G.L. and Quinton, J.N., 1998. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Management*, 14, 168-174.
- Chaney, R.L., and S.B. Hornick, 1977. Accumulation and effects of Cadmium on crops. Paper presented at Int Cadmium Conf. San Francisco. January 31. pp 125.
- Chaney, R.L., J.C. Brown, and L.O. Tiffin, 1972. Obligatory reduction of ferric chelates in Iron uptake by soybeans. *Plant Physiol.* 50. pp 208.
- Christensen, J.B., Jensen, D.L. and T.H. Christensen. 1992. Effect of dissolved organic carbon on the mobility of cadmium, nickel and zinc in leachate polluted groundwater. *Water Research.* 30, 3037-3049.
- Clark I., 2001. Practical Geostatistics. Geostokos Ltd.

- Codling, E. E., R. L. Chaney and C. L. Mulchi, 2000. Use of aluminum- and iron-rich residues to immobilize phosphorus in poultry litter and litter-amended soils. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1924-1931.
- Cole, C.V., Innis, G.S., Stewart, J.W.B., 1977. Simulation of phosphorus cycling in semi-arid grasslands. *Ecology* 58: 1-15. In Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.
- Collins J.F. and Buol S.W., 1970. Effects of fluctuations in the Eh-pH environment of iron and/or manganese equilibria. *Soil Science* 110: 111-118.
- Corwin, D. L., G.Sabine and D.Anne, 1999. Evaluation of a Functional Model for Simulating Boron Transport in Soil. Lippincott Williams & Wilkins, Inc.10. pp. 697-717.
- Cotter D.J. and Mishra U.N., 1968. The role of organic matter in soil manganese equilibrium. *Plant and soil* XXIX:439-448.
- Clemens J., Schillinger M.P., Goldbach H., 1999. Spatial variability of soil parameters of an arable silt loam – a field study. *Biol.Fertil.Soils* Vol.28, pp 403-406.
- Cressie N.A.C., 1993. Statistics for Spatial Data. J.Wiley & Sons Inc.
- Cunningham, L.M., F.W. Collins, and T.C. Hutchinson, 1975. Physiological and Biochemical aspects of cadmium toxicity in soybean, Int. Conf. On Heavy Metals in the Environment. Toronto. October 27. pp 97.
- Dabin, P., E. Marafante, J.M. Mousny, and C. Myttenaere, 1978. Absorption, distribution and binding of Cd and Zn in irrigated rice plants. *Plant Soil.* 50. pp. 329.
- Dalal, R.C., 1977. Soil organic phosphorus. *Adv. Agron.* 29: 83-117.
- Dalal, R.C., Hallsworth, E.G., 1976. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Sc. Plant An. J.* 40: 541-545.
- Daniel, T. C., A. N. Sharpley and J. L. Lemunyon, 1998. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. *J. Environ. Qual.* 27. pp. 251-257.

- Davidson, D.A., S.P. Theochropoulos, and R.J. Bloksma, 1992. A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and fuzzy set methodologies. *Int. J. Geographical Information Systems*. Vol. 8. no 4. pp 369-384.
- Deluisa et al., 1996. Copper pollution in Italian vineyard soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 27 : 1537-1548.
- Dible, W.T., E. Truog and K.C. Berger, 1954. Boron determination in soils and plants. *Anal. Chem.* 26. pp. 418-421.
- Dixon, J. C. 1994. Duricrusts. In A. D. Abrahms and A. J. Parsons, eds. *Geomorphology of desert environments*, p.82-105. Chapman & Hall, London.
- Drever, J. I. 1988. *The geochemistry of natural waters*. Prentice-Hall , Engewood Cliffs, N. J. 437 p.
- Dunham, R.J. and P.H. Nye., 1974. The influence of soil water content on the uptake of ions by roots. III. Phosphate, Potassium and Magnesium. *Journal of Applied Ecology*. 13:967-984.
- Durn, G., D. Slovenec, and M. Covic. 2001. Distribution of iron and manganese in Terra Rossa from Istria and its Genetic Implications. *Geologia Croatica*. 54/1:27-36.
- Ebbs S.D. and Kochian L., 1997. Toxicity of Zinc and Copper to Brassica species: Implications for phytoremediation. *Journal of environmental quality* 26: 776-781.
- Echevarria, J. C. et al. 1998. Competitive sorption of heavy metals by soils : isotherms and fractional factorial experiments. *Environmental Pollution*. 101, 275-284.
- Eghball, B. and J. E. Gilley, 1999. Phosphorus and nitrogen in runoff following beef cattle manure or compost application. *J. Environ. Qual.* 28. pp. 1201-1210.
- El Baruni, B. and Olsen S.R. 1979. Effect of manure on solubility of phosphorus in calcareous soils. *Soil Sci.* 112, 219-225.
- El Jaoual T. and Cox D., 1998. Manganese toxicity in plants. *Journal of plant nutrition* 21:353-386.
- Favatiere, F. and B.S. Polla 2001. Tobacco smoke inducible human haem oxygenase-1 gene expression: role of distinct transcription factors and reactive oxygen intermediates. *Biochem. J.* 353 Part3 : 475-482.

- Fixen, P.E., Ludwick, A.E., 1982. Residual available phosphorus in near-neutral and alkaline soils: II. Persistence and quantitative estimation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 335-338.
- Φλωράς Α., 2004. Παραδόσεις του μαθήματος Γ.Σ.Π.
- Frank, K., D. Beegle, and J. Hemming, 1998. Phosphorus. In J.R. Brown, Ed., *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region*, North Central Regional Research Publication Number 221 (revised), Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001, University of Missouri, Columbia. Pp 21-29.
- Gaynor, J. and D. Bissonnette, 1992. The effect of conservation tillage practices on the losses of phosphorous and herbicides in surface and subsurface drainage waters. Final Report No. 60 for Southwestern Ontario Agric. Res. Corp., Agric. Canada Res. Station, Harrow, Ontario.
- Γάτσιος, Φ.Α. 2003. Προσδιορισμός των ρύπων των λεκανών απορροής που μεταφέρονται με τους χειμάρρους σε υγρότοπους του Νομού Μαγνησίας. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.
- Gburek, W. J., A. N. Sharpley, L. Heathwaite and G. J. Folmar, 2000. Phosphorus management at the watershed scale: A modification of the phosphorus index. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 130-144.
- Golia, E.E., I.K. Mitsios, and C.D. Tsantilas, 2003. Concentration of Heavy Metals in tobacco leaves (Burley, Virginia and Oriental) in Thessaly Area, central Greece. *Communication in Soil Science and plant analysis*. In press.
- Goovaerts P., 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biol. Fertil. Soils*. Vol 27. pp 315-334.
- Goovaerts P., 1999. Geostatistics in Soil Science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* Vol.89, pp 1-45.
- Goovaerts P., 1999. Regional estimates of soil properties from local observations. *Computers & Geosciences*. Vol- .pp-
- Goovaerts P., 2000. Estimation or simulation of soil properties? An optimization problem with conflicting criteria. *Geoderma* Vol.97 pp 165-186.



- Gotoh S. and Patrick W.H., 1972. Transformation of manganese in a waterlogged soils affected by redox potential and pH. *Soil.Sc.Soc. of Am. Proc.* 36:738-741.
- Goudie, A. S. 1983. Calcrete. In A. S. Goudie and K. Pye, eds., *Chemical sediments and geomorphology : Precipitates and residua in the near surface environments*, p. 93-131. Academic press, London, 439 p.
- Groenigen J.W., 2000. The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging. *Geoderma* Vol.97 pp 223-236.
- Guisquiani P.L., G. Gigliotti, D. Busineli. 1992. Mobility of heavy metals in urban waste-amended soils. *Journal of environmental quality.* 21, 330-335.
- Gupta, U.C., Y.W. Jame, C.A. Cambell, A.J. Leyshon and W. Nicholaichuk, 1985. Boron Toxicity and Deficiency: A Review. *Can. J. Soil Sci.* 65. pp. 381-409.
- Harrison, A. F., 1987. *Soil Organic Phosphorus. A Review of World Literature.* CAB International, Wallingford, UK.
- Hartikainen, H. and Simojoki, A., 1997. Changes in solid-and solution- phase phosphorus in soil on acidification. *European Journal of Soil Science*, 48, 493-498.
- Haas, A.R.C., 1942. Lime-induced chlorosis of citrus in relation to soil factors. *Plant Physiol.* 17:27-51.
- Haustein, G. K., T. C. Daniel, D. M. Miller, P. A. Moore and R. W. McNew, 2000. Aluminum-containing residuals influence high-phosphorus soils and runoff water quality. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1954-1959.
- Hawkins, J. M. and D. Scholefield, 1996. Molybdate-reactive phosphorus losses in surface and drainage water from permanent grassland. *J. Environ. Qual.* 25. pp. 727-732.
- Heckrath, G., P. C. Brookes, P. R. Poulton and K. W. T. Goulding, 1995. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. *J. Environ. Qual.* 24. pp. 904-910.

- Hergert, G., D. Bouldin, S. D. Klausner and P. J. Zwerman, 1981. Phosphorus concentration-water flow interactions in tile effluent from manured land. *J. Environ. Qual.* 10. pp. 338-344.
- Heuvelink G.B.M., Webster R., 2001. Modelling soil variation: past, present, and future. *Geoderma* Vol.100 pp 269-301.
- Hildebrand, E.E. and W.E. Blum. 1975. Fixation of emitted lead by soils. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 3:279-294.
- Horiguchi T., 1987. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants II. Deposition of oxidized Mn in plant tissues. *Soil Science Plant Nutrition* 33:595-606.
- Horst W.J., 1988. The physiology of manganese toxicity. In *manganese soils and plants*. p:175-188.
- Hogg D.S., McLaren R.G. and Swift R.S., 1993. Desorption of copper from some New Zealand soils. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.* 57: 361-366.
- Holford, I.C.R., 1997. Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Austr. J. Soil Res.* 35: 227-239.
- Holford, I.C.R. and G.E.G. Mattingl, 1975. The high and low energy phosphate absorbing surfaces in calcareous soils. *J. Soil Sci.* 26: 407-417.
- Hsu, P.H., and Rennie, D.A., 1962. Reactions of phosphate in aluminum systems. I. Adsorption of phosphate by x-ray amorphous aluminum oxide. *Can. J. Soil Sci.* 42:197-209. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- IGME, 1983. Γεωλογικοί Χάρτες.
- Impellitteri C.A., Yuengfeng Lu, Saxe J.K., Allen H.E. and J.G.M. Peijnenburg, 2002. Correlation of the partitioning of dissolved organic matter fractions with the desorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn from 18 Dutch soils. *Environment International* 28 : 401-410.
- John, M.K., H.H. Chuah and J.H. Neufend, 1975. Application of improved azomethine-H method to the determination of boron in soils and plants. *Anal. Lett.* 8. pp. 559-568.

- Johnston, K., J.M. Ver Hoef, K. Krivoruchko, and N. Lucas, 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. GIS by ESRI.
- Journel A.G., and Ch.J.Huijbregts. 1991. Mining Geostatistics. Academic Press.
- Kabata A. and H. Pendias. 1992. Trace elements in soils and plants. 2<sup>nd</sup> Ed., CRC Press, London, pp. 120-130 & 203-207.
- Kamparth, E.J. and Watson, M.E., 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 16. ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Keren, R. And F.T. Bingham, 1985. Boron in Water, Soils, and Plants. Advances in Soil Sci. 1. pp. 229-275.
- Keren, R., F.T. Bingham and J.D. Rhoades, 1985. Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 49. pp. 297–302.
- Keren, R. and G.A. O'Conner, 1982. Effect of exchangeable ions and ionic strength on boron adsorption by montmorillonite and illite. Clays Clay Miner (30). pp. 341–346.
- Keren, R. and D.L. Sparks, 1994. Effect of pH and ionic strength on boron adsorption by pyrophyllite. Soil Sci. Soc. Am. J. (58). pp. 1095–1100.
- Kitagishi, K., and I.Yamane, 1981. Eds. Heavy metal pollution in soils of Japan. Japan science society press. Tokyo. 302.
- Kloke, A., D. R. Sauerbeck, and H. Vetter, 1984. The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chains. In changing metal cycles and human health. Niagu, J. O. Eds. Dahlem. Konferenzen. Springer-Verlag. Berlin. pp 113.
- Kostov O. and Van Cleemput O., 2001. Nitrogen transformations in copper contaminated soils and effects of lime and compost application on soil resiliency. Biology and Fertility of soils 33: 10-16.
- Krauskopf, K. B. and D. K. Bird. 1995. Introduction to geochemistry. McGraw-Hill, New York, 647 p.

- Khiari, L., L. E. Parent, A. Pellerin, A. R. A. Alimi, C. Tremblay, R. R. Simard and J. Fortin, 2000. An agr-environmental phosphorus saturation index for acid coarse-textured soils. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1561-1567.
- Kitao M., Lei T. T., Nakamura T. and Koike T., 2001. Manganese toxicity as indicated by visible foliar symptoms of Japanese white birch. *Environmental Pollution* 111:89-94.
- Kunito T., Saeki K., Goto S., Hayashi H., Oyaizu H. and Matsumoto S., 2001. Copper and Zinc fractions affecting micro organisms in long term sludge amended soils. *Biorecourse Technology* 79: 135-146.
- Lange-Hesse, K., L. Duneman, and G. Schwedt, 1994. Properties and binding forms of Cd and Ni in protein extracts from bean seeds. *Fresenius J.Anal.Chem.* 349:460-464.
- Lark R.M., 2000. Designing sampling grids from imprecise information on soil variability, an approach based on the fuzzy kriging variance. *Geoderma* Vol.98, pp 35-39.
- Larsen, S. 1967. Isoionic exchange of phosphate in paddy soils. *Plant and Soil* 25, 401-407.
- Larsen, S., Gunary D., Sutton, C.D., 1965. The rate of immobilization of applied phosphate in relation to soil properties. *J. Soil Sci.* 16: 142-148.
- Larsen, S., Parton, D.J., Svensson, Inga-Lisa, 1963. Reaction between monocalcium phosphate and calcium carbonate. *Nature* 197:317, In F.E. Khasawneh et al. (ed.) *The Role of Phosphorus in Agriculture*, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Lastuvka, Z. and J.Minar, 1970.The relation between nutrient solution concentration and growth and ion absorption of peas, *P.Sativum*. II. Accumulation, distribution and utilization of nitrogen ,phosphorus and potassium. *Plant and Soil.* 32:412-423.
- Li, Z.B. and L.M. Shuman. 1996. Heavy metal movement in metal contaminated soil profile. *Soil Science.* 161, 656-666.
- Lindsay, W.L., Frazier, A.W., Stephenson, H.F., 1962. Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soils. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 26: 446-

452. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Lloyd C.D., Atkinson P.M., 2001. Designing optimal sampling configurations with ordinary and indicator kriging. *Computers & Geosciences*. Vol.27 pp 929-937.
- Lopez FJ, Gimenez E, & Hernandez F (1993) Analytical study on the determination of boron in environmental water samples. *Fresenius J Anal Chem*, 346: 984-987.
- Ma L.Q., Tan F. and Harris W.G., 1997. Concentrations and distribution of eleven metals in Florida soils. *Journal of Environmental Quality*. 26 : 769-775.
- Machicol, R.D., and P.H.T. Becket, 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil* 85. pp107.
- MAFF, 1988. Fertilizer Recommendations. Reference Book 209. HMSO, London.
- Maguire, R. O., J. T. Sims and F. J. Coale, 2000. Phosphorus solubility in biosolids-amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. *J. Environ. Qual.* 29. pp. 1225-1233.
- Maguire, R. O., J. T. Sims, S. K. Dentel, F. J. Coale and J. T. Mah, 2001. Relationships between biosolids treatment process and soil phosphorus availability. *J. Environ. Qual.* 30. pp. 1023-1033.
- Markert, B., 1987. Multielementanalytik: Mogliche dastellungweiser von Messdaten. *Fresenius Z. Anal. Chem.* pp 327-329.
- Μανιάτης, Ι., 1993. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης. Κτηματολογίου εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- Matta, M.S., A.C. Wilbraham and D.D. Staley. 1996. Introduction to organic and biological chemistry. D.C. Health and Company Publishers, Lexington, Massachusetts, Toronto.
- McAuliffe, G.F., Hall, N.S., Dean, L.A. and Hendricks, S.B 1947. Exchange reactions between phosphates and soils. Hydroxylic surfaces of soil minerals. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12, 119-123.
- McBratney A.B., Webster R., 1986. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science Vol.37*, pp 617-639.

- McBride, M.B., 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York, Oxford.
- McClellan, Gremillion, 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 3. ASA-CSSA-SSSA, USA.
- McDaniel P.A. and S.W. Buol. 1991. Manganese distributions in acid soils of North Carolina Piedmont. Soil Sci. Soc. Am.J. 55 : 152-158.
- McDaniel P.A., G.R. Bathke, S.W. Buol, D.K. Cassel and A.L. Falen. 1992. Secondary Manganese/Iron Ratio as pedochemical indicators of field scale Through flow water movement, Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1211-1217.
- McGrath S.P., Chaudri A.M. and Giller K.E., 1995. Long term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. J. of industrial microbiology 14: 94-104.
- McKenny, D.J., and J.R. Vrisacker, 1985. Effect of Cadmium Contamination on Denitrification Processes in Brookston Clay and Fox Sandy Loam. Envir. Pollut. Series. A. 38. pp 221.
- McRaughlin, M. J., N. A. Maier, R. L. Correll, M.K. Smart, L.A. Sparrow and A. McKay, 1999. Prediction of Cd concentrations in potato tubers by pre-plant soil and irrigation water analysis. Aust. J. Soil Res. 37 :191-207.
- Mahendra S., 1970. Equilibrium adsorption of boron in soils and clays, Geoderma Volume 5, Issue 3. pp. 209-217.
- Mengel, K. and Kirkby, C. A. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. 4<sup>th</sup> Edition. Worblaufen-Bern.
- Μήτσιος, Ι.Κ., 1996. Αλατούχα και Αλκαλιωμένα (με Νάτριο) Εδάφη. Ποιοτική Κατάταξη των νερών Άρδευσης. Αθήνα.
- Μήτσιος, Ι.Κ., 1999. Εδαφολογία, Εκδόσεις Zymel.
- Μήτσιος, Ι.Κ., 2001. Εδαφολογία, Εκδόσεις Zymel.
- Μήτσιος, Ι.Κ., 2000. Σύγχρονες τάσεις της εδαφολογικής επιστήμης. Ποιότητα εδάφους, GIS, τηλεπισκόπηση, διαχείριση εδαφικών πόρων. Πρακτικά ημερίδας Εδαφολογικοί χάρτες του Ν. Λάρισας. Λάρισα.



- Μήτσιος Ι.Κ., Μ.Γ. Τούλιος, Α. Χαρούλης, Φ. Γάτσιος και Στ. Φλωράς, 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην Περιοχή Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel.
- Μήτσιος, Ι. Κ., Γκόλια, Ε .Ε., και Ρίζου, Ζ .Σ., 2000. Επίπεδα συγκέντρωσης Βορίου σε εδάφη καλλιεργούμενα με καπνό και νερά άρδευσης της Θεσσαλίας. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Σελ. 263-270.
- Μήτσιος, Ι. Κ., Σταματοπούλου, Ι. Γ. και Τσάτσα, Α. Γ., 2000. Διαθεσιμότητα εδαφικού φωσφόρου σε αντιπροσωπευτικές χαρτογραφικές μονάδες της Θεσσαλίας. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Σελ. 312-319.
- Μήτσιος, Ι.Κ., 2004. Γονιμότητα Εδαφών, Θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά μικροθρεπτικά) και Βαρέα μέταλλα Μέθοδο και Εφαρμογές. Εκδόσεις Zymel
- Miller, E.K. and A.J. Friedland. 1994. Lead migration in forest soils: response to changing atmospheric inputs. Environ.Sci.Technol. 28 :662-669.
- Minar, J. and Z.Lastuvka, 1969.The dynamics of the accumulation of the nitrogen, phosphorus and potassium in maize and peas in the first growth phaces at constant mineral nutritions. Biologia Plantarum. **II**. 149-157.
- Moore, Jr., P. A., T. C. Daniel and D. R. Edwards, 1999. Reducing phosphorus runoff and improving poultry production with alum. Poultry Sci. 78. pp. 692-698.
- Moore, Jr., P. A. and D. M. Miller, 1994. Decreasing phosphorus solubility in poultry litter with aluminum, calcium and iron amendmets. J. Environ. Qual. 23. pp. 325-330.
- Morgan, .M.A., 1997. The Behaviour of Soil and Fertilizer Phosphorus.pp 137-149 in: Tunney et al. (eds). Phosphorus Loss from Soil to Water.CAB Intern. , Oxon UK and New York, USA.
- Moser, U.S., Sutherland, W.H., Black, C.A., 1959. Evaluation of laboratory indexes of adsorption of soil phosphorus by plants: I. Plant Soil 10: 356-374. In Methods of soil analysis, Part II. Chemical and Microbiological Properties. ASA-SSSA. USA.
- Muljadi, D., Posner, A.M., Quirk, J.P., 1966a. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Part I. The isotherm and

- the affect of pH on adsorption. J. Soil Sci. 17: 212-229. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Muljadi, D., Posner, A.M., Quirk, J.P., 1966b. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Part II. The location of adsorption sites. J. Soil Sci. 17: 230-237. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Muljadi, D., Posner, A.M., Quirk, J.P., 1966c. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. Part III. The effect of temperature on the adsorption. J. Soil Sci. 17: 238-247. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Murphy, J., Riley J.P., 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 27: 31-36.
- Nelson, E. 2001. The miseries of passive smoking. Hum. Exp. Toxicol. 20 (2): 61-83.
- Page, A. L., Miller, H. R. and Keeney, R. D. 1982. Methods of soil analysis part II – Chemical and microbiological properties Second Edition. American Society of Agronomy. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Nelson, L.E., 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture, Chapter 25. ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Nelson, W.L., A. Mehlich, and E.Winters, 1953. The development evaluation and use of soil test for phosphorus availability, in W.H. Pierre and A.G. Norman, Eds. Soil and Fertilizer Phosphorus, Agronomy Number 4, American Society of Agronomy. Madison. WI, pp 153-188.
- Nicholas, D.J. D., 1975. The fuctions of trace elements, in trace elements in soil-plant animal systems. Nicholas, P.J.D. and Egan , A.R. eds. Academic Press. New York. 1975. pp 181.
- Nriagu, J.Q. 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. Nature 338:47-49.
- Obihara, C.H. and Rusell, E.W., 1972. Specific absorption of silicate and phosphate by soils. Journal of Soil Science, 23, 105-117.

- Odeh I.O.A., McBratney A.B., 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma* Vol.67, pp 215-226.
- Olsen, S.R., Bowman, R.A., Watanable F.S., 1977. Behavior of phosphorus in the soil and interaction with other nutrients. *Phosphorus Agrc.* 70: 31-46. In *Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis*, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.
- Olsen, S. R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, C.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USA. Dep. Agric. Sir. No 939*, 19.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. *Methods of soil analysis, Part II. Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA. USA.
- Reddy, K. R., G. A. O'Connor and P. M. Gale, 1998. Phosphorus sorption capacity of wetland soils and stream sediments impacted by dairy effluent. *J. Environ. Qual.* 27. pp. 438-447.
- Reisenauer, H.M., L.M. Walsh and R.G. Hoefft, 1973. Testing Soil for Sulfur, Boron, Molybdenum, and Chlorine. pp. 173-200 In: L.M. Walsh and J.M. Beaton (Edw) *Soil Testing and Plant Analysis*, SSSA, Madison WI.
- Parfitt, R.L., Atkinson, R.J., Smart, R.St.C., 1975. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 837-841
- Pebesma E.J., and C.G. Wesseling, 1998. Gstat, a program for geostatistical modelling, prediction and simulation. *Computers and Geosciences*, Vol.24, pp 17-31.
- Perkins P.V., 1995. The consideration of soil boron adsorption and soil solution boron concentration as affected by moisture content. *Geoderma*. Volume 66, Issues 1-2. pp. 99-111.
- Peters, L. M. and N. T. Basta, 1996. Reduction of excessive bioavailable phosphorus in soils by using municipal and industrial waste. *J. Environ. Qual.* 25. pp. 1236-1241.

- Pfost, D., W. Casady, and K. Shannon, 1999. Global Position System Receivers (SSMG-6), Site-Specific Management Guidelines, Potash and Phosphate Institute. Norgross. GA.
- Pissarides, A., Stewart, J.W.B., Rennie, D.A., 1968. Influence of cation saturation on phosphorus adsorption by selected clay minerals. Can. Soil Sci. 48: 151-157. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Pittiglio, S. and H.E. Doner, 2001. The use of micro-FTIR to characterize soil minerals and Boron adsorption. Ecosystem Sciences Division. Environmental Science, Policy and Management.
- Πίζου, Ζ.Σ., 2002. Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των βαρέων μετάλλων με GIS σε εδάφη επιλεγμένων περιοχών της Θεσσαλίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Π.Μ.Σ. Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Price, C.A., H.E. Clark, and E.A. Funkhouser, 1972. Function of micronutrients in plants, in J.J. Mortvent, P.M. Giordano and W.L.Lindsay (eds.). Micronutrients in agriculture. pp 231. Soil science society of America Inc Madison. Wisconsin. USA.
- Ritchie, G.S.P. and Weaver, D.M. 1993. Phosphorus retention and release from sandy soils of the Peel-Harvey catchment. Fertilizer Research, 36, 115-122.
- Robbins, C.W., and D.L. Carter. 1970. Selenium concentrations in phosphorous fertilizer materials and associated uptake by plants. Soil Sci.Soc. .am.Proc34:506-509.
- Phipps, D. A. 1981. In effects of heavy metals pollution on plants. Lepp, N. W. applied science. Publishers. London. 1-54.
- Pote, D. H., T. C. Daniel, A. N. Sharpley, P. A. Moore, Jr., D. R. Edwards and D. J. Nichols, 1996. Relating extractable soil phosphorus losses in runoff. Soil Sci. Soc. Am. J. 60. pp. 855-859.
- Rich, E., 1983. Artificial Intelligence. McGRAW-hill, Auckland.

- Rothbaum, H. P., R. L. Goguel, A. E. Johnston and G. E. G. Mattingly. 1986. Cadmium Accumulation in Soils From Long-Continued Applications of Superphosphate.
- Rowell, D.L., 1995. Soil Science. Methods and Applications, Longman Group, UK., Chapter 10.
- Russell, R.S., and Rickson, G.B. and Adams, S.N. 1954. Isotopic equilibria between phosphates in soil and their significance in the assessment of fertility by tracer methods. J. Sci. 5, 85-105.
- Russel, E.W., 1973. Soil Conditions and Plant Growth. Longman.
- Ruso et al. 2001. Toxic metals accumulation and total soluble phenolics in sunflower and tobacco plants. Minerva Biotech. 13(2): 93-95.
- Ryden, G.C., Syers, G.K. and Harris, R.F. 1973. Phosphorus in runoff and streams. Advances in Agronomy, 25 1-45.
- Santos M.L.M., C. Guenat, F. Golay. 2000. Three-dimensional GIS cartography applied to the study of the spatial variation of soil horizons in a Swiss floodplain. *Geoderma* Vol.97, pp 351-366.
- Sapmle, E.C., R.G. Soper, and G.J. Racz, 1980. Reaction of phosphate fertilizers in soils. Pp 263-310 in: F.E. Khasawneh et al. (eds). The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA. Madison.
- Sawhney, B.L., 1974. Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 28: 159-160. In F.E. Khasawneh et al. (ed.) The Role of Phosphorus in Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, USA.
- Scheffer, K., W. Stasch, and F. Vardakis, 1979. Über die Verteilung der Schwermetalle Eisen, Mangan, Kupfer und Zink im Sommergetreidepflanzen. Landwirtsch. Forsch. 2. pp 326.
- Schlesinger, W.H., W.A. Reiners, and D.S. Knopman. 1974. Heavy metal concentrations and depositions in Montane ecosystems of New Hampshire, USA Environ. Pollut. 6:39-47.

- Scott, C., L. D. Geohring and M. F. Walter, 1998. Water quality impacts of tile drains in shallow, sloping, structured soils as affected by manure applications. *Appl. Eng. Agric.* 14. pp. 599-603.
- Semu, E. and B. R. Singh. 1996. Accumulation of heavy metals in soils and plants after long-term use of fertilizers in Tanzania. *Fertilizer Research* 44: 241-248.
- Sharpley, A. N., 1995. Identifying sites vulnerable to phosphorus loss on agricultural runoff. *J. Environ. Qual.* 24. pp. 947-951.
- Σγούρας 2002 Σχέση ασβεστούχων γεωλογικών υποστρωμάτων με τις ιδιότητες των υπερκείμενων εδαφών. Πρακτικά 9<sup>ου</sup> Πανελλήνιου Εδαφολογικού Συνεδρίου
- Sharpley, A. N., 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *J. Environ. Qual.* 24. pp. 920-926.
- Sharpley, A.N. and Rekolainen, S. 1997. Phosphorus in Agriculture and Its Environmental Implications, pp 1-54 in: Tunney et al. (eds). *Phosphorus Loss from Soil to Water*. CAB Intern. Oxon UK and New York, USA.
- Sharpley, A. N., S. Chapra, R. Wedepohl, J. T. Sims, T. C. Daniel and K. R. Reddy, 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23. pp. 437-451.
- Sharpley, A.N. and Lemunyon, J. 1997. Identifying Critical Sources of Phosphorus Export from Agriculture Catchments. Pp 391-394 in: Tunney et al. (eds). *Phosphorus Loss from Soil to Water*. CAB Intern. , Oxon UK and New York, USA.
- Sharpley, A. N., S. J. Smith, B. A. Stewart and A. C. Mathers, 1984. Forms of phosphorus in soil receiving cattle feedlot waste. *J. Environ. Qual.* 13. pp. 211-215.
- Sharpley, A. N. and S. J. Smith, 1989. Prediction of soluble phosphorus transport in agricultural runoff. *J. Environ. Qual.* 18. pp. 313-316.
- Shreve, B. R., P. A. Moore, T. C. Daniel, D. R. Edwards and D. M. Miller, 1995. Reduction of phosphorus in runoff from field applied poultry litter using chemical amendments. *J. Environ. Qual.* 24. pp. 106-111.



- Sims, J. T., R. R. Simard and B. C. Joern, 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.* 27. pp. 277-293.
- Σιμώνης, Α., 1990. Επίπεδα φωσφορικής γονιμότητας – Ισοζύγιο P και χαρακτηριστικά δέσμευσης P των Ελληνικών εδαφών. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελλήνιου Εδαφολογικού Συνεδρίου.
- Σπυρίδης Α., 1998. Γεωστατιστική εκτίμηση ορισμένων υδροδυναμικών παραμέτρων του εδάφους. Εφαρμογή στην γεωργική υδραυλική. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Αγρονόμων – Τοπογράφων. Πολυτεχνική Σχολή.
- Σταματοπούλου Ι.Γ., 2000. Διαθεσιμότητα εδαφικού φωσφόρου και προσδιορισμός του φωσφόρου στο καπνό σε χαρακτηριστικές Εδαφολογικές μονάδες της Θεσσαλίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Π.Μ.Σ. Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Smeck, N.E., 1985. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. *Geoderma* 36: 185-199. In Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.
- Smith K.A. and Paterson J.E. 1990. Manganese and Cobalt. In heavy metals in soils. p :225-243
- Smyth, T.J., Sanchez, P.A., 1982. Phosphate rock and superphosphate combinations for soybeans in a Cerado Oxisol. *Agron. J.* 74: 730-735. In Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.
- Soper, R.J., El Bagouri, I.H.M., 1964. The effect of soil carbonate level on the availability of added and native phosphorus in some calcareous soils. *Can J. Soil Sci.* 44: 337-344.
- Sommer, Anna L. and Lipman, C. B. 1926. Evidence on the Indispensable Nature of Zinc and Boron for Higher Green Plants. *Plant Physiol.* 1. pp 231-249.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy. U.S. Dept. Agri. Handbook 436, 754p.
- Stevenson, F. J. and M. A. Cole, 1999. Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

- Sturges, W.T. and L.A. Barrie. 1989. Stable lead isotope ratios in arctic aerosols: Evidence for the origin of arctic air pollution. *Atmos. Environ.* 23:2513-2519.
- Συλλαίος Ν., Γήτας Ι., Συλλαίος Γ., 2003. Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γ.Σ.Π.
- Tso, T. C. 1990. Production, physiology and biochemistry of tobacco plants. IDEALS, Inc:319-321, 324-326, 343-347.
- Tong Y., Rengel Z. and Graham R.D., 1997. Interactions between Nitrogen and Manganese nutrition of barley genotypes differing in Manganese efficiency. *Annals of botany* 79:53-58.
- Tunney, H., Carton, O.T., Brookes, P.C. and Johnston A.E., 1997. Phosphorus Loss from Soil to Water, Chapter 6. CAB International, UK.
- Turner, B., M. J. Paphazy, P. M. Haygarth and I. D. McKelvie, 2002. Inositol phosphates in the environment. *Philis. Trans. R. Soc. Lond. B* 357. pp. 449-469.
- Tyller, G., M.B. Pahlsson, G. Bengtsson, E. Baath, and L.Travnik. 1989. Heavy metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates. *Water air soil pollution* 49:189-215.
- Voltz M., P. Lagacherie and X. Louchart, 1997. Predicting Soil Properties over a region using sample information from a mapped reference area. *European Journal of Soil Science*. Vol.48. pp 19-30. BSSS.
- Voulgaropoulos, A., M. Paneli, E. Papaefstathiounad S. Stauvroulias. 1991. Comparative Determinations of Cd and Pb in Phosphorites Dissolved in Nitric Acid and Aqua Regia Using Differential Pulse Anodic Stripping Voltametry and AAS. *Fresenius J. Anal. Chem.* 341: 568-569.
- Wagner G. J., T. G. Sutton and R. Yeargan. 1988. Root control of leaf Cadmium Accumulation in Tobacco. *Tob. Sci.* 32: 88-91.
- Watanable F.S., Olsen, S.R., 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 677-678.
- Wallace, T., 1951. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. A color atlas and guide. Chemical Publishing. H.M. Stationery Office. London.

- Wallace, T., 1952. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms.(2<sup>nd</sup> edition). A color atlas and guide. Chemical Publishing. H.M. Stationery Office. London.
- Wallihan, E.F., 1955. Relation of chlorosis to concentration of iron in citrus leaves. *Amer.Jour.Bot.* 42:101-104.
- Webster R., 2000. Is soil variation random? *Geoderma* Vol.97, pp 149-163.
- Westervalt, J.D., and H.F. Reetz, 2000. GIS in Site-Specific Agriculture, Intersate Publishers Inc., pp 64.
- White, R.E., 1980. Retention and release of phosphate by soil and soil constituents. In Soil Science Society of America, 1990: Soil Testing and Plant Analysis, 3<sup>rd</sup> ed. SSSA.
- White, G.N., and J.B. Dixon. 1996. Iron and manganese distribution in nodules from a Young Texas Vertisol, *Soil Sci.Soc.Am.J.*55:345-349.
- Wild, A. Russell's Soil Conditions and Plant Growth 11<sup>th</sup> edn. Longman, London. 1988.
- Wild, A., 1950. The retention of phosphate by soil. A review. *J.Soil Sci.* 1:221-238.
- William, E.C. 1970. Factors affecting the availability of soil phosphate and efficiency of phosphate fertilizers. Anglo-Soviet Symposium on Agrochemical Research on the Use of Mineral Fertilizers, Moscow.
- Williams, C. H. and David, D. J.1973. The Effect of Superphosphate on the Cadmium Content of Soils and Plants. *Aust.J. Soil Res.* 11, 43-56.
- Wright, P. V. and M. E. Tucker. 1991. Calcretes: An introduction. In V. P. Wright and M. E. Tucker, eds, *Calcretes*, p. 1-22. Reprint vol. 2, International Assoc. Sedimentologists, Blackwell Scientific, Oxford., 352 p.
- Wu J. et al., 2002. Effect of humic substances on Cu(II) solubility in kaolin-sand soil. *Journal of hazardous materials* 94 : 223-238.
- Xiaodong J., Olea R., and Yun-Sheng Y., 1996. Semivariogram Modeling By Weighted Least Squares. *Computers & Geosciences.* Vol.22, No.4, pp 387-397. Elsevier Science Ltd.

- Ye Z.H., Baker A.J.M., Wong M.H. and Willis A.J., 2003. Copper tolerance, uptake and accumulation by *Phragmites australis*. *Chemosphere* 50 : 795-800.
- Yukselen Mehmet Ali and Alpaslan Bilge, 2001. Leaching of metals from soil contaminated by mining activities. *Journal of hazardous materials* 87 : 289-300.
- Ζαμπέκας, Π.Δ., 2003. Χρήση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην εκτίμηση της γονιμότητας των εδαφών στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Π.Μ.Σ. Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Zhang X.F., Eijkeren J.C.H, and Heemink A.W., 1995. On the weighted least-squares method for fitting a semivariogram model. *Computers & Geosciences* Vol.21. No 4, pp 605-608.
- Zibilske, L. M. and J.M. Bradford, 2003. Tillage effects on phosphorus mineralization and microbial activity. *Soil Science*. 168(10). pp. 677-685.